

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**
Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**
Направление подготовки **18.03.01 Химическая технология**
Профиль **Машины и аппараты химических производств**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование реактора полимеризации хлоропрена

УДК 678.763.2.05

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Кузеванова Анастасия Юрьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук И. В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М. С.	-		

Консультант по разделу «Механический расчет оборудования»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доцент		

Томск – 2020 г.

Запланированные результаты обучения по ООП 18.03.01 выпуска 2020 г.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Применять базовые математические и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОПК-1,2,3; ПК-8,10,11,12; ОК-1,2,3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ОПК-1,2; ПК-1,3,,9; ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии.	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-2,4,5,16; ОК-5,7), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия , общества и окружающей среды	Требования ФГОС (ОПК – 1; ПК-2,4,5,8,17,18; ОК-3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ОПК -2,3; ПК-13,14,15; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ОПК – 3; ПК-1,4,6,7,9,10,11; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,6), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (2.6)
P9	Активно ладеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-4,6,8) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр Н. М. Кижнера
Направление подготовки (специальность) 18.03.01 Химическая технология
Профиль Машины и аппараты химических производств

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Бакалаврской работы

Группа	ФИО
4Г6Б	Кузеванова Анастасия Юрьевна

Проектирование реактора полимеризации хлоропрена

Утверждена приказом директора (дата, номер)

27.02.2020 №58-47/c

Срок сдачи студентом выполненной работы:

03.06.2020

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Реактор полимеризации хлоропрена
периодического действия;
Среднее время пребывания компонентов в
реакторе: 3,5 ч;
Давление в корпусе аппарата: 0,2 МПа;
Давление в рубашке: 0,3 МПа;
Температура смеси в корпусе аппарата: 40 °С
Температура воды в рубашке: 10 °С
Производительность по продукту: 10 000 кг/ч
Степень конверсии: 70
Состав исходной смеси:

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Реферат; Введение; 1 Литературный обзор; 2 Технологическая схема; 3 Технологические расчеты; 4 Выбор конструктивных материалов; 5 Механический расчет; 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 7 Социальная ответственность; Заключение; Список использованной литературы.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 – Общий вид реактора полимеризации А1; Лист 2 – Сборочный чертеж корпуса реактора полимеризации А1; Лист 3 – Технологическая схема А2; Лист 4 – Техничко-экономические показатели А2;</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант
Механический расчет оборудования	Беляев Василий Михайлович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Владимировна
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> <p><i>Реферат</i></p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	17.04.2020
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев Василий Михайлович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Кузеванова Анастасия Юрьевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО		
4Г6Б	Кузевановой Анастасии Юрьевне		
Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	НОЦ Н. М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИП
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет
5. Основные показатели эффективности

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Кузеванова Анастасия Юрьевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Г6Б	Кузевановой Анастасии Юрьевне

Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	НОЦ Н. М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Тема ВКР:

Проектирование реактора полимеризации хлоропрена	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: реактор полимеризации хлоропрена. Область применения: полимерное производство.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	-Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018); - Конституция Российской Федерации; - ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: -повышенный уровень шума на рабочем месте; -раздражающие химические вещества; Опасные факторы: -электрический ток.
3. Экологическая безопасность:	Атмосфера: воздействий нет. Гидросфера: сточные воды. Литосфера: загрязнение почвы отработанными веществами.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: -возникновение производственных аварий техногенного характера; - возникновение пожара и взрыва. Наиболее типичная ЧС: воспламенение масел

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6Б	Кузеванова Анастасия Юрьевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 139 страниц, 28 рисунков, 29 таблиц, 1 приложений, 62 использованных источников, 3 листов графического материала.

Ключевые слова: полимеризатор, рубашка, полихлоропрен, реактор, мешалка.

Объектом исследования является реактор полимеризации хлоропрена.

Целью данной работы являлось рассмотрение процесса полимеризации хлоропрена и оборудования для проведения реакции, определение конструкции реактора, являющимся основным оборудованием.

В процессе выполнения работы был произведен технологический расчет для подбора соответствующего аппарата, а также механический расчёт для определения его типа и размеров.

В результате исследования спроектирован аппарат полимеризации.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: внутренний диаметр корпуса аппарата 2400 мм, внутренний диаметр рубашки 2500 мм, температура в реакторе 40 °С, в рубашке - 10 °С, перемещающее устройство - шестилопастная мешалка.

Область применения: химическая промышленность.

Abstract

The graduation qualification work consists of an explanatory note containing 139 pages of typewritten text, 28 figures, 29 tables, 62 sources of literature, 3 sheets of graphic material.

Key words: polymerizer, jacket, polychloroprene, reactor, stirrer.

The object of the study is a chloroprene polymerization reactor.

The aim of the work is consideration of the polymerization of chloroprene and equipment for the reaction, determination of the design of the reactor, which is the main equipment.

In the course of performance of work technological calculations for selection of the corresponding device, and also mechanical calculation for definition of its type and the sizes were made.

The result of the work is an engineering polymerization apparatus.

The main structural, technological and technical and operational characteristics: the inner diameter of the apparatus 2400 mm, the inner diameter of the shirt 2500 mm, the temperature in the reactor is 40 °C, in the jacket - 10 °C, the overloading device is a six-blade stirrer.

Field of application: chemical industry.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	12
1 Литературный обзор.....	13
1.1. Процесс полимеризации	13
1.2 Хлоропреновый каучук.....	14
1.3 Компоненты системы эмульсионной полимеризации хлоропрена	15
1.4 Конструкция аппаратов с перемешивающими устройствами.....	16
1.5 Перемешивающие устройства.....	17
1.6 Виды уплотнений	19
1.7 Выбор конструкции аппарата.....	21
2 Технологическая схема	24
3 Технологический расчет аппарата	27
3.1 Материальный расчет.....	28
3.2 Гидродинамический расчет	30
3.3 Тепловой расчет.....	33
3.4 Конструктивный расчет	41
4 Выбор конструктивных материалов	43
4.1 Определение расчетных параметров материалов.....	44
4.2 Определение прибавки к толщине стенки	45
5 Механический расчет реактора полимеризации хлоропрена.....	46
5.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки корпуса	47
5.1.1 Расчет толщины стенки при действии наружного давления.....	48
5.1.2 Проверочный расчет толщины стенки при действии внутреннего давления.....	55
5.2 Расчёт толщины стенки эллиптического днища корпуса аппарата.....	57
5.2.1 Расчет толщины стенки днища при действии наружного давления.....	58
5.2.2 Проверочный расчет толщины стенки днища при действии внутреннего давления.....	61
5.3 Расчёт толщины стенки эллиптической крышки корпуса аппарата.....	62
5.4 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки рубашки.....	65
5.5 Расчет толщины стенки эллиптического днища рубашки.....	67
5.6 Расчет фланцевого соединения корпуса с крышкой	70
5.6.1 Определение болтовой нагрузки.....	72
5.6.2 Проверка прочности болтов и прокладки	78
5.6.3 Расчет фланцев на статическую прочность	78
5.6.4 Проверка углов поворота фланцев.....	81
5.7 Расчет необходимости укрепления отверстий.....	81
5.7.1 Штуцер ввода веществ в крышку (штуцер А-Д)	82

5.7.2 Штуцер вывода продукта (штуцер Е).....	84
5.7.3 Штуцер ввода воды в рубашку (штуцер Ж).....	85
5.7.4 Отверстие под люк-лаз (люк-лаз И).....	86
5.8 Расчет опор.....	87
5.9 Расчет вала механической мешалки	90
5.9.1 Расчет вала	92
5.9.2 Расчет на виброустойчивость	93
5.9.3 Расчет на жесткость.....	94
5.9.4 Расчет на прочность	97
5.10 Расчет шпоночного соединения вала с мешалкой.....	100
6 Результаты разработки.....	102
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение	106
7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	106
7.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	106
7.1.2 SWOT-анализ	107
7.2 Планирование научно-исследовательских работ	110
7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	110
7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения.....	111
7.2.3 Разработка графика проекта	112
7.2.4 Бюджет научно-технического исследования	114
7.2.4.1 Расчет материальных затрат	115
7.2.4.2 Расчет амортизации специального оборудования	115
7.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	116
7.2.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	118
7.2.4.5 Накладные расходы	118
7.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	120
Выводы по разделу	122
8 Социальная ответственность	123
8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	123
8.1.1 Правовые нормы трудового законодательства	123
8.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны	124
8.2 Производственная безопасность	124
8.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	125
8.2.1.1 Превышение уровня шума	125
8.2.1.2 Токсические химические вещества.....	126
8.2.1.3 Электрический ток	126

8.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на работающего	127
8.3 Экологическая безопасность	127
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	128
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	130
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	131
Приложение А.....	137

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время хлоропеновые синтетические каучуки являются одним из наиболее распространенных полимерных материалов, который применяется в различных областях промышленности. Ранее для изготовления различных резинотехнических изделий применялся натуральный каучук, что приводило к резкому повышению их стоимости.

Самым крупным потребителем материалов на основе синтетического каучука являются автомобильные компании. Именно шины являются наиболее востребованным товаром из синтетического каучука. В настоящее время в мире действует около пятисот заводов по производству автомобильных покрышек, которые выпускают более одного миллиарда единиц товара в год.

В производстве полимеров, как и в большинстве производств химической промышленности, необходимы реакторы полимеризации в целях проведения основной реакции.

Целью данной работы являлось рассмотрение процесса полимеризации хлоропрена и оборудования для проведения реакции, определение конструкции реактора, являющимся основным оборудованием.

1 Литературный обзор

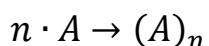
1.1. Процесс полимеризации

Полимерами называются соединения, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся атомных группировок, соединенных химическими связями в длинные цепи. В зависимости от состава полимеры бывают органические, неорганические и элементоорганические [1].

Высокомолекулярные соединения получают двумя наиболее распространенными способами: полимеризация и поликонденсация. Синтетические каучуки в основном синтезируют путем проведения реакции полимеризации.

Синтетические каучуки (такие как бутадиеновые, изопреновые) часто перерабатывают в резину. Каучуки подразделяются по области применения на общего назначения (производство шин, резины) и специального назначения, обладающие некоторыми специфическими свойствами (например, масло- или морозостойкие).

Полимеризация — это процесс синтеза высокомолекулярных соединений, происходящий с помощью последовательного соединения молекул одного или нескольких мономеров. При этом элементарные звенья получаемого полимера схожи по составу от исходных мономеров. Полимеризация происходит в массе, в растворе, в эмульсии и в твердой фазе. В общем виде реакция полимеризации возможно описать уравнением:



В зависимости от природы активного центра бывает:

- радикальная полимеризация (активные центры - свободные радикалы);
- ионная полимеризация (активные центры - ионы);
- ион-радикальная полимеризация (активные центры - ион-радикалы).

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Выполнил	Кузеванова А.				Лит.		Лист	Листов
Провер.	Беляев В. М.				4		13	138
Литературный обзор					ТПУ ИШНПТ НОЦ Н. М. Кижнера Группа 4Г6Б			
Н. Контр.								
Утверд.								

В случае радикальной полимеризации увеличивается скорость реакции при повышении температуры процесса, так как с изменением температуры меняется и строение образующихся пролимеров. Например, при полимеризации бутадиена при повышенных температурах синтезируется в основном циклический димер, а не цепные молекулы.

Иными словами, степень разветвленности полимера увеличивается с повышением температуры.

Также с увеличением давления возрастает скорость полимеризации, так как увеличивается количество столкновений активных центров с полимерами. В процессе синтеза полимеров увеличение давления делает возможным уменьшить температуру реакции. Также применение повышенных давлений процесса должно сопоставляться с используемым катализатором.

1.2 Хлоропреновый каучук

Что касается самого хлоропрена, то вещество является легко полимеризующимся мономером. При радикальном процессе скорость его полимеризации почти в 700 раз превышает скорость полимеризации изопрена [1].

Хлоропреновый каучук «дюпрен» впервые синтезировали в США в 1931 г. при помощи полимеризации хлоропрена в массе [2].

Каучуки на основе хлоропрена синтезируют полимеризацией самого вещества или сополимеризацией его с малыми количествами виниловых или диеновых углеводородов в водных эмульсиях. Молекулы полихлоропрена состоят на 85% из транс- 1,4-звеньев и на 10% из цис- 1,4-звеньев. На рисунке 2 представлена структура молекулы полихлоропрена.

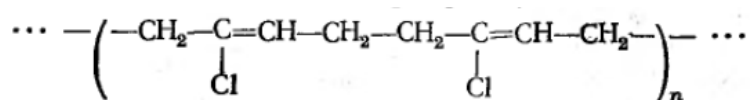


Рисунок 1 - Структурная формула полихлоропрена

Ввиду наличия хлора в молекуле полихлоропрена, получаемый каучук имеет масло- и бензостойкость, повышенную теплостойкость и негорючесть каучука.

Наличие хлора при двойной связи также увеличивает стабильность полимера к действию озона и солнечной радиации.

1.3 Компоненты системы эмульсионной полимеризации хлоропрена

В большинстве своем каучуки на основе хлоропрена синтезируют полимеризацией хлоропрена в водных эмульсиях под влиянием инициаторов, а также с применением в качестве регуляторов серы.

Главные преимущества эмульсионной полимеризации хлоропрена - простота регулирования процессом, возможность его автоматизации и организации непрерывного процесса. Также качество каучука, получаемого эмульсионной полимеризацией, в отличие от каучука, получаемого при полимеризации в массе, намного выше.

Вода служит дисперсионной средой при эмульсионной полимеризации хлоропрена.

Помимо основного мономера хлоропрена в процессе присутствуют дополнительные мономеры (сомономеры). В связи с этим получают сополимеры с многообразными свойствами, зависящими от соотношения хлоропрена и сомономера, и в свою очередь природы последнего.

СТЭК или натриевую соль сульфопроизводных газойлевой фракции бакинской нефти, очищенной от нефтяных масел и примесей железа используют как эмульгатор начала полимеризации. СТЭК используется в эмульсии в сочетании с канифольным мылом, повышающем стабильность эмульсии в процессе синтеза полимера [3].

Персульфат калия является инициатором полимеризации, который в отличие от органических пероксидов позволяет (по причине более медленной диффузии в мицеллы каучука) координировать скорость полимеризации,

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

персульфат вымывается в процессе выделения каучука и несложно разрушается.

Водный раствор аммиака как компонент окислительно-восстановительной системы применяется в качестве активатора процесса в завершении полимеризации. Активаторами могут являться такие вещества как сульфит натрия, триэтаноламин и др.

1.4 Конструкция аппаратов с перемешивающими устройствами

Производство хлоропреновых каучуков состоит из следующих стадий [4]:

- приготовление растворов ингредиентов;
- приготовление водной и углеводородной фаз;
- полимеризация;
- дегазация и выделение каучука

Основным и главным этапом является полимеризация. Реакция происходит в ёмкостном реакторе, снабженном перемешивающим устройством и обогревательным элементом - рубашкой.

Аппарат для механического перемешивания в традиционном представлении - вертикальный цилиндрический аппарат с мешалкой. Основными частями такого аппарата является корпус, мешалка, привод, уплотнение вала.

Привод перемешивающего устройства почти всегда - электродвигатель, соединенный прямой или понижающей передачей с валом мешалки. Прямая передача встречается относительно редко, в основном применяется в аппаратах малого объема (менее 1 м³), аппаратах, используемых для перемешивания токсичных, взрыво- и пожароопасных веществ при повышенных давлениях.

Уплотнение вала в зависимости от давления в аппарате выполняется различными способами, которые зависят от давления среды в оборудовании главным образом, нужной степени герметизации и других особых условий, предъявляемых к аппарату.

Сальниковые уплотнения применяют в аппаратах, используемых для перемешивания нетоксичных и невзрывоопасных жидкостей при низких давлениях (до 0,6 МПа).

1.5 Перемешивающие устройства

В соответствии с ГОСТом 20680–2002 [5] регламентируется 12 вариантов мешалок: трехлопастная с углом наклона лопасти $\alpha = 24^\circ$; винтовая (пропеллерная); турбинная открытая; турбинная закрытая; шестилопастная, с углом наклона лопасти $\alpha = 45^\circ$; клетьевая; лопастная; шнековая; якорная; рамная; ленточная; зубчатая. Типы мешалок представлены на рисунке 6.

Перемешивающие устройства подразделяются на тихоходные и быстроходные. При перемешивании жидких сред при турбулентном и переходном режимах движения жидкости используются быстроходные мешалки; при ламинарном движении жидкости - тихоходные. Также быстроходные мешалки часто используют в оборудовании при значениях Γ не менее 1,5 ($\Gamma = \frac{D_{\text{ап}}}{d_{\text{м}}}$, где $D_{\text{ап}}$ – внутренний диаметр аппарата, $d_{\text{м}}$ – диаметр мешалки) (рисунок 2). К ним относят лопастные, пропеллерные, турбинные, клетьевые и зубчатые мешалки.

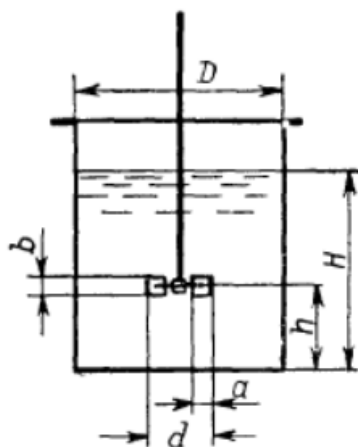


Рисунок 2 - Геометрическое подобие аппарата с мешалкой [6]

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

17

Лопастные мешалки - устройства, состоящие из лопастей прямоугольного сечения в количестве двух или более, закрепленных на вращающемся валу.

Чаще всего используют двухлопастные (также именуемые лопастными), трехлопастные и шестилопастные перемешивающие устройства.

Турбинные мешалки работают по принципу центробежного насоса и обеспечивают значительное радиальное течение по сравнению с лопастными, рамными и якорными мешалками, сообщая жидкости в основном вращательное движение.

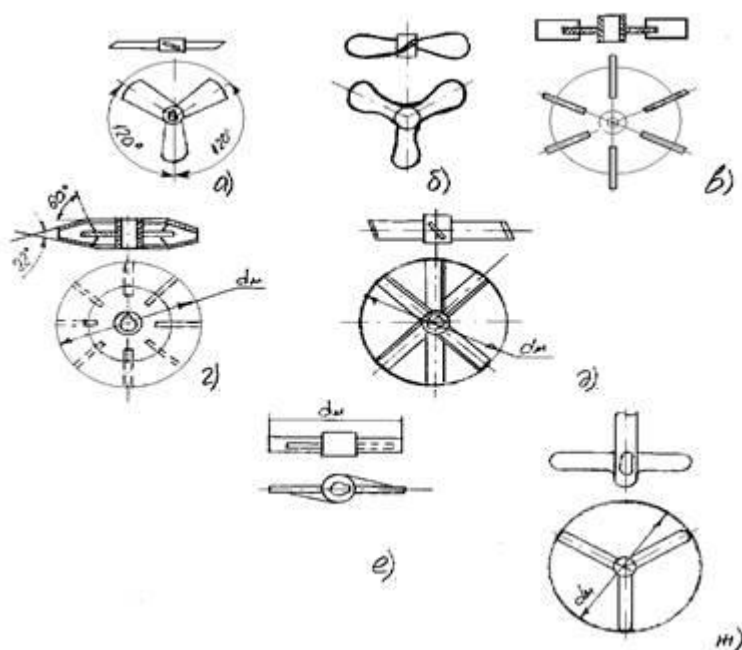


Рисунок 3 - Быстроходные мешалки [7]

а - трехлопастная; б - винтовая; в - открытая турбинная; г - закрытая турбинная;
д - шестилопастная; е - лопастная; ж - трехлопастная эмалированная.

Тихоходные мешалки представлены на рисунке 4. Рамные, якорные, шнековые и ленточные мешалки являются тихоходными перемешивающими устройствами, применяемыми для интенсификации теплообмена, гомогенизации и ускорения высоковязких и ньютоновских сред, и для исполнения некоторых иных технологических операций.

Тихоходные мешалки чаще всего применяются только в оборудовании без перегородок, за исключением шнековой мешалки, которая может быть

использована не только в гладкостенных аппаратах, но и в аппаратах с циркуляционной трубой и отражательными перегородками.

Рамные и якорные мешалки отличаются исключительно низким числом оборотов, не превышающим 0,33–1 об/с. Диаметр устройств стремится к диаметру аппарата, и зазор между лопастью и стенкой сосуда обычно принимается в пределах $(0,005 \div 0,1) D$. Следовательно, при использовании этого типа мешалок возможно избежать местного перегрева жидкости (при нагреве при помощи рубашки) или осадка на дне сосуда. Также перемешивающие устройства данного типа применяются при работе с веществами высокой вязкости. Якорные мешалки могут применяться для перемешивания жидкостей вязкостью 50 Па·с, а рамные – для перемешивания жидкостей вязкостью 100 Па·с.

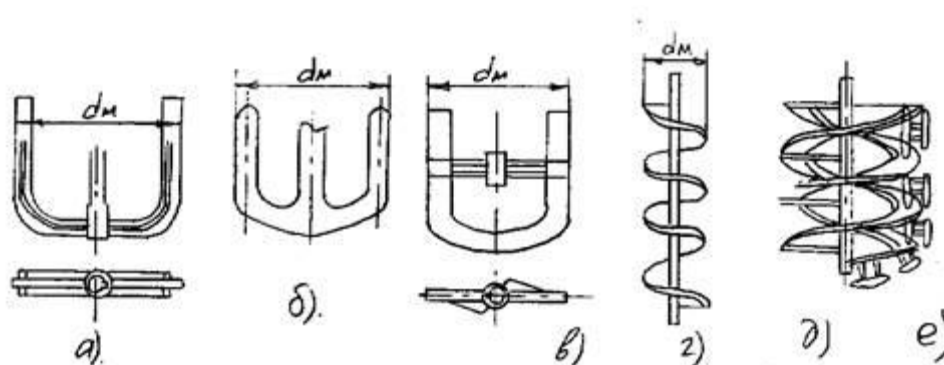


Рисунок 4 - Тихоходные мешалки [7]

а - якорная; б - якорная эмалированная; в - рамная; г - шнековая;
д - ленточная; е - ленточная мешалка со скребками.

1.6 Виды уплотнений

Уплотнения, применяемые в аппаратах для перемешивания веществ, бывают следующих типов: гидрозатворы, сальниковые и торцевые. Применение того или иного вида уплотнения зависит от физико-химических параметров и характеристик этих сред, и в свою очередь от требований производственной санитарии, техники безопасности и пожароопасности.

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

19

Гидрозатвором является уплотнительный узел используемый для предотвращения соприкосновения газовой среды, находящийся во внутреннем пространстве аппарата, с атмосферой (рисунок 5).

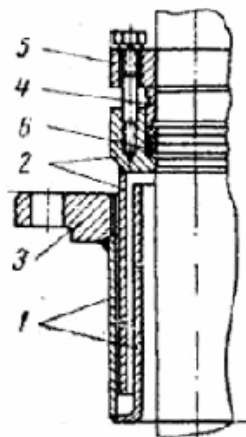


Рисунок 5 - Гидрозатвор

1 - двойной стакан; 2 - колпак; 3 - фланец; 4 - втулки; 5 - водило; 6 - уплотнение

Сальниковые уплотнения (рисунок 6) используют для герметизации валов оборудования при условии их работы с неагрессивными или малоагрессивными средами, работающих под избыточным давлением, не превышающим 0,6 МПа, или под действием остаточного давления, большего 0,04 МПа.

Сальниковые уплотнения без охлаждения с подводом смазывающей жидкости в зону уплотнения применяются от - 20 °С до 70 °С, а с подводом жидкости в зону уплотнения возможно использование при условном давлении до 2,5 МПа или остаточном давлении не ниже 20 мм.рт. ст.

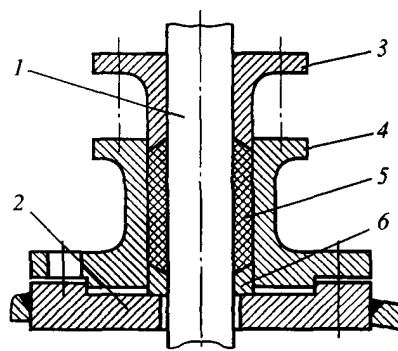


Рисунок 6- Простое сальниковое уплотнение

1 - вал мешалки; 2 - бобышка; 3 - нажимная втулка; 4 - сальниковая коробка; 5 - набивка;
6 - грундбукса

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

20

Торцевые уплотнения (рисунок 7) широко распространены ввиду следующих преимуществ:

- нет необходимости постоянного обслуживания в отличие от сальников;
- отличаются большой износоустойчивостью и в соответствии долговечностью;
- высокая герметичность.

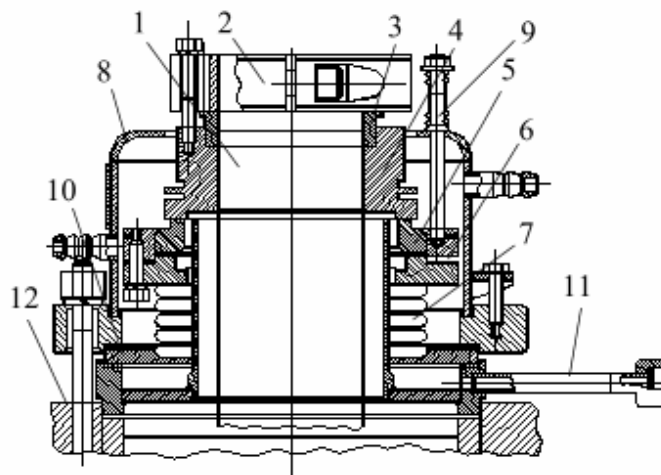


Рисунок 7 - Торцевое уплотнение

1 - вал; 2 - водило; 3 - втулка; 4,5 - опорное и уплотнительное кольцо; 6, 12 - фланец; 7 - сильфон; 8 - рубашка; 9 - шпилька с пружиной; 10 - корпус уплотнения; 11 - отвод воды из нижней части

Торцовые уплотнения приемлемо работают в тяжелых условиях под давлением (до 45 МПа), температуре (от - 200 °С до 450 °С и выше при охлаждении), их применяют для валов любого размера.

1.7 Выбор конструкции аппарата

Таким образом, учитывая, что в реакторе происходит процесс полимеризации взаиморастворимых жидкостей при наличии химической реакции, без отложений и перегородок, со средней относительной интенсивностью, руководствуясь рекомендациями [28], можно выбрать по ГОСТ 20680-2002 [12] быстроходную мешалку - шестилопастное перемешивающее устройство (рисунок 8, таблица 1).

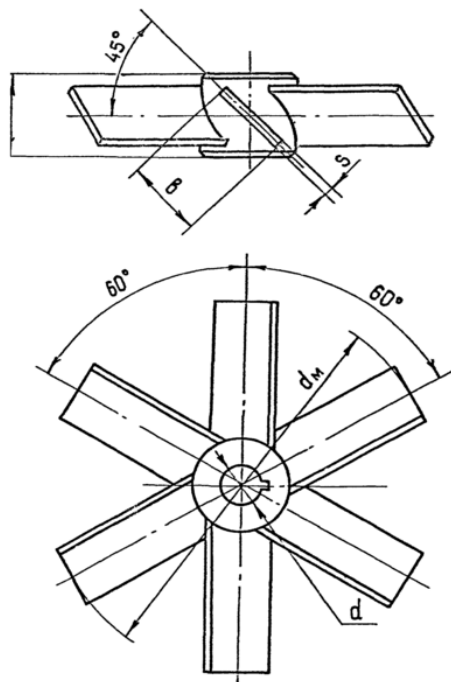


Рисунок 8 - Шестилопостная мешалка

Таблица 1 - Параметры мешалки [44]

b, мм	d _м , мм	h, мм	s, мм
160	800	130	8

Также учитывая преимущества торцевых уплотнений и в особенности повышенную герметичность принимаем в качестве уплотнений именно торцевые, так как при достижении определенной концентрации хлоропрена с воздухом образуется взрывоопасная смесь.

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

22

Принимаем стойку типа 2 исполнения 2 [48] (рисунок 9).

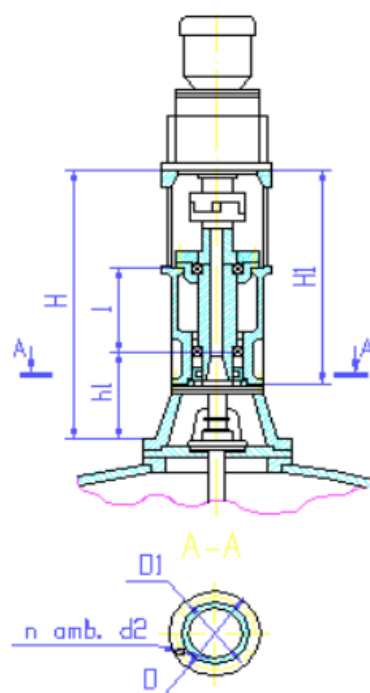


Рисунок 9 - Стойка аппарата тип 2 исполнение 2

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

23

2 Технологическая схема

Технологическая схема полимеризации хлорпропена представлена на рисунке 10:

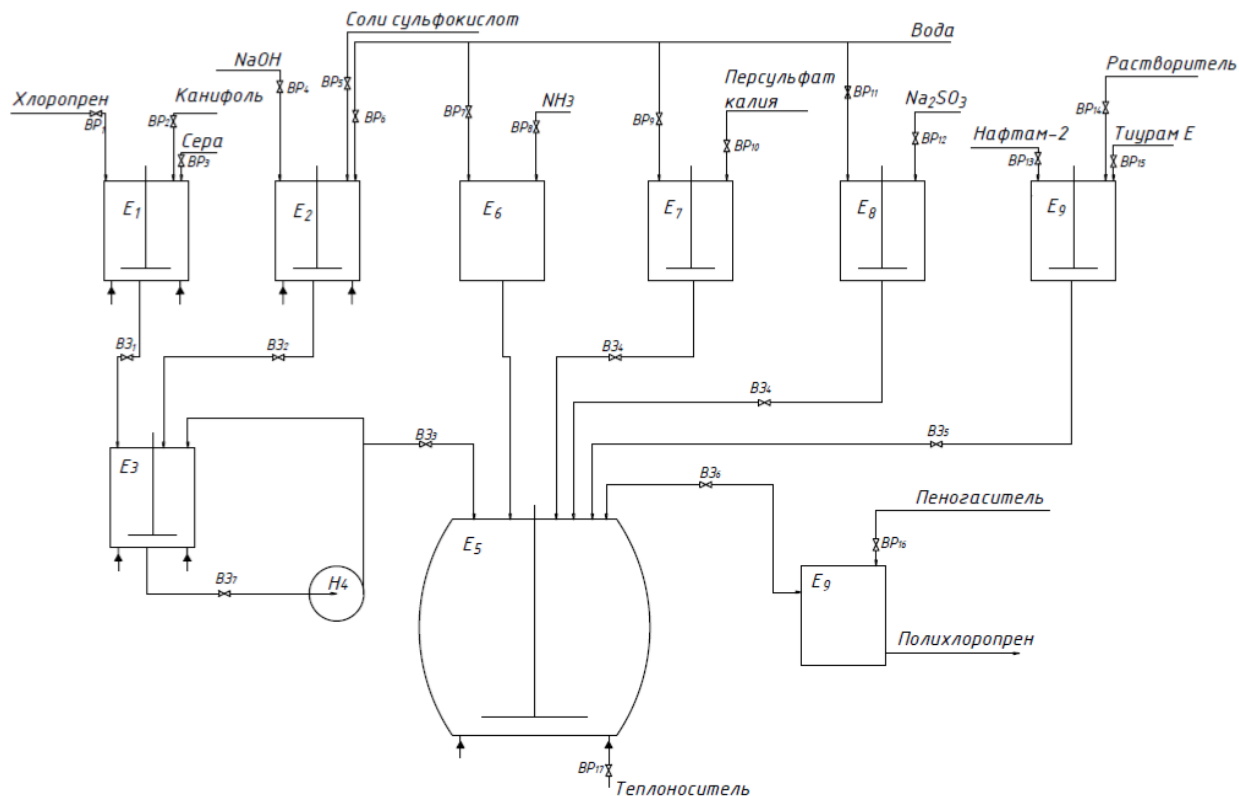


Рисунок 10 - Технологическая схема производства хлоропренового каучука [1]:

1 - аппарат для приготовления углеводородной фазы; 2 - аппарат для приготовления водной фазы; 3 - эмульгатор фаз; 4, 11 - насосы; 5 - полимеризатор; 6 - аппарат для приготовления водного раствора аммиака; 7 - аппарат для приготовления раствора инициатора; 8 - аппарат для приготовления раствора активатора; 9 - аппарат для приготовления суспензии стабилизатора; 10 - сборник латекса.

Рассмотрим последовательно каждый аппарат.

Аппарат 1, оборудованный перемешивающим устройством и рубашкой.

В нем происходит приготовление углеводородной фазы - раствора серы и

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Выполнил		Кузеванова А.									
Провер.		Беляев В. М.									
Н. Контр.											
Утверд.											
					Лит.			Лист		Листов	
					Д			25		138	
					Технологическая схема						
					ТПУ ИШНПТ НОЦ Н. М. Кижнера Группа 4Г6Б						

канифоли в хлоропрене и нагрев до 15-20 °С, после чего раствор поступает в полимеризатор.

Аппарат 2, также оборудованный перемешивающим устройством и рубашкой. В данном аппарате подготавливают водную фазу (эмульгатор) - щелочной раствор СТЭК или алкилсульфоната натрия.

Аппарат 7, оборудованный мешалкой. В данном изготавливают инициатор - 4%-ный водный раствор персульфата калия.

Аппарат 6. В данном аппарате подготавливают аммиачную воду - первый активатор полимеризации.

Аппарат 8, снабжённый мешалкой для ускорения растворения. В данном аппарате готовят водный раствор сульфита натрия - второй активатор полимеризации.

Эмульгатор фаз 3, оборудованный мешалкой и рубашкой. В данный эмульгатор две фазы из аппаратов 1 и 2 поступают самотеком. При интенсивном перемешивании, циркуляции эмульсии с помощью насоса 4 и подогреве горячей водой (или паром) через рубашку создается устойчивая эмульсия хлоропрена с частицами размером 3-5 мкм.

Полимеризатор 5. В данном устройстве, оборудованном мешалкой и рубашкой, происходит полимеризация эмульсии из аппарата 3 с помощью инициатора из аппарата 7. Тепло, выделяющееся при полимеризации, отводится охлажденной водой (8-10 °С) через рубашку.

Для ускорения полимеризации и поддержания требуемой щелочности в латекс подается первый активатор - аммиачная вода - из аппарата 6. После образования основной массы полимера, реакция замедляется. Для последующего продолжения процесса в расствор из аппарата 8 подается второй активатор - водный раствор сульфита натрия. Полимеризация продолжается до достижения требуемой конверсии хлоропрена, определяемой по плотности латекса.

Аппарат 9, снабженный мешалкой. В данном аппарате готовят стабилизатор - эмульсию бензольного раствора смеси тиурама Е и нафтама-2,

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

которую добавляют в полимеризатор по достижении заданной конверсии хлорпропена.

10. Сборник- смеситель. В данном устройстве латекс, передавливаемый азотом из полимеризатора 5, охлаждается до 28-30 °С.

После чего латекс через фильтр поступает на последующую переработку: дегазацию от незаполимеризованного хлоропрена, щелочное дозревание и выделение каучука.

В составе схемы основным аппаратом является реактор полимеризации. Отдельно данный реактор представлен на рисунке 11:

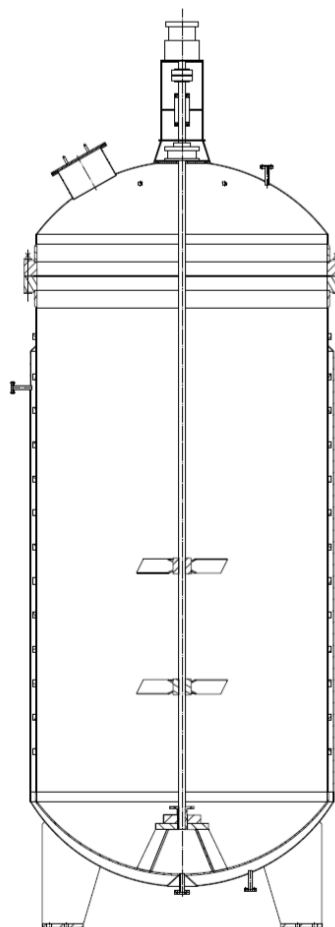


Рисунок 11 - Реактор процесса производства хлоропренового каучука

Полимеризатор имеет мешалку для непрерывного перемешивания эмульсии, термометр для контроля температуры полимеризации и манометр для наблюдения за давлением в аппарате. Снаружи полимеризатор снабжен водяной рубашкой для подогрева эмульсии в начале реакции и последующего охлаждения ее. Объем полимеризаторов от 2,5-3,0 м³ до 15-20 м³.

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

3 Технологический расчет аппарата

Целями технологического расчета в соответствии с подразделами являются:

- определение материальных потоков, необходимого объёма реактора, диаметра аппарата для материального расчета;
- определение гидродинамического режима, его основных параметров, определение диаметра вала, мощности привода мешалки и выбор привода для гидродинамического расчета;
- определение тепловых потоков, необходимой поверхности теплопередачи, проверка достаточной контактной поверхности теплообмена для теплового расчета;
- определение диаметров технологических штуцеров для конструктивного расчета.

Упрощенная схема потоков для технологического расчета представлена на рисунке 12.

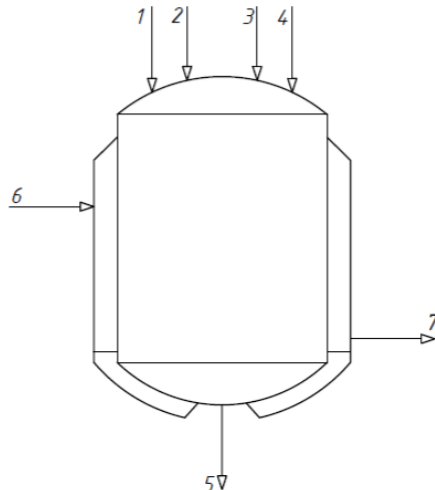


Рисунок 12 - Упрощенная схема расчета, 1 - поток эмульсии хлоропрена; 2 - поток первого активатора полимеризации; 3 - поток инициатора полимеризации; 4 - поток второго активатора полимеризации; 5 - поток полихлоропрена; 6 - поток воды в рубашку; 7 - поток отработанной воды из рубашки

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ								
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата									
Выполнил		Кузеванова А.			Технологический расчет					Лит.		Лист	Листов
Провер.		Беляев В. М.								Д		28	138
Н. Контр.													
Утверд.													
					ТПУ ИШНПТ НОЦ Н. М. Кижнера Группа 4Г6Б								

3.1 Материальный расчет

Часовая производительность с учетом потерь продукта по стадиям [8]:

$$\Pi_{\text{ч}}^{\text{п}} = \frac{N}{1 - \frac{a}{100}}, \quad (3.1.1)$$

где N - производительность готового продукта, $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$;

a - общий процент потерь продукта по всем стадиям процесса.

Потери продукта принимаем равными 1,6 %. Тогда производительность:

$$\Pi_{\text{ч}}^{\text{п}} = \frac{10000}{1 - \frac{1,6}{100}} = 10162,6 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Исходные данные к расчету представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Исходный состав смеси [13]

Вещество	Масс. ч.
Хлоропрен	100
Сера	0,75
Канифоль	4,0
Аммиачная вода (20-% раствор)	1,7
СТЭК (25% раствор)	12,5
Едкий натр (10% раствор)	3,0
Персульфат калия	0,6
Сульфит натрия	0,03
Вода	142

Массовый расход мономера, учитывая степень конверсии, можно определить по следующей формуле [9]:

$$G_{\text{м}} = \frac{G_{\text{прод}}}{k} \cdot \frac{x_i}{100} \quad (3.1.2)$$

где x_i - содержание компонента в смеси, масс. ч.

$$G_{\text{м}} = \frac{10162,6}{0,70} \cdot \frac{100}{100} = 14518 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

Расход остальных веществ процесса можно определить по следующей формуле [9]:

$$G_{i \text{ исх}} = G_{\text{м}} \cdot \frac{x_i}{100}$$

Учитывая степень конверсии $k = 70\%$, определяем количество оставшихся после реакции веществ:

$$G_{\text{м ост}} = \frac{G_{\text{м}} \cdot (100 - k)}{100} \quad (1.3)$$

Тогда для хлоропрена

$$G_{\text{м ост}} = \frac{14518 \cdot (100 - 70)}{100} = 4355 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Материальный баланс

Вещество	Расход		Приход	
	$G_{i \text{ исх}}$, кг/ч	Содержание, % мас.	$G_{i \text{ ост}}$, кг/ч	Содержание, % мас.
Хлоропрен	14 518	37,80	4 355	11,32
Сера	108,9	0,28	108,9	0,28
Канифоль	580,7	1,51	580,7	1,51
Аммиачная вода (20-% раствор)	246,8	0,64	246,8	0,64
СТЭК (25% раствор) (алкилсульфонат натрия)	1 815	4,73	1 815	4,73
Едкий натр (10% раствор)	435,5	1,13	435,5	1,13
Персульфат калия	87,1	0,23	87,1	0,23
Сульфит натрия	4,4	0,01	4,4	0,01
Вода	20 620	53,67	20 620	53,67
Полихлоропрен			10 162,6	26,2
Итого	38 410		38 410	

Определим необходимый объем реактора [10]:

$$V_{\text{раб}} = \frac{G_{\text{вн}} \cdot t_{\text{сум}}}{\rho}, \quad (3.1.4)$$

где ρ - плотность реагента (принимая плотность хлоропрена), $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

$t_{\text{сум}}$ - среднее время пребывания реагентов в реакторе, с.

$$V_{\text{раб}} = \frac{38410 \cdot 3,5}{960} = 140 \text{ м}^3$$

Принимаем 7 аппаратов полимеризации, каждый объёмом 20 м³

Объём аппарата принимаем на 10% больше рабочего, так как при перемешивании на поверхности жидкости может возникать воронка, или происходить вспенивание реакционной массы [10].

$$V = 1,15 \cdot V_{\text{раб}} \quad (3.1.5)$$

$$V = 1,1 \cdot 20 = 23,0 \text{ м}^3$$

Диаметр аппарата определяется по следующей формуле:

$$D = \sqrt[3]{\frac{V}{m\pi}}, \quad (3.1.6)$$

где m - отношение высоты аппарата H к его диаметру D , часто принимают равным 1.

$$D = \sqrt[3]{\frac{23,0}{1 \cdot 3,14}} = 2,0 \text{ м}$$

По ГОСТ 9617-76 [11] примем диаметр $D = 2\,400$ мм.

Высоту аппарата принимаем равной 4 м.

3.2 Гидродинамический расчет

Так как мешалка быстроходная принимаем количество оборотов равное 3 об/с.

Отношение диаметров:

$$\Gamma_D = \frac{D}{d_m}, \quad (3.2.1)$$

где $D = 2,4$ - диаметр аппарата, м;

d_m - диаметр мешалки, м.

Для шестилопастной мешалки принимаем $\Gamma_D = 3$ [13]

Диаметр мешалки (из формулы (3.2.1)):

$$d_m = \frac{D}{\Gamma_D} \quad (3.2.2)$$

$$d_m = \frac{2,4}{3} = 0,8 \text{ м}$$

Число Рейнольдса определяется по формуле:

$$Re_{\text{ц}} = \frac{nd_{\text{м}}^2}{\nu} \quad (3.2.3)$$

где $n = 3 \frac{\text{об}}{\text{с}}$ - частота вращения мешалки;

$\nu = 6,68 \cdot 10^{-7}$ - кинематическая вязкость перемешиваемой среды [14], $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$

$$Re_{\text{ц}} = \frac{3 \cdot 0,8^2}{6,68 \cdot 10^{-7}} = 3 \cdot 10^6$$

Параметр высоты заполнения:

$$\gamma = 8 \frac{H}{D} + p \quad (3.2.4)$$

где H - высота заполнения аппарата средой, м;

$p = 1$ для аппаратов со свободной поверхностью жидкости [10].

$$\gamma = 8 \frac{3}{2,4} + 1 = 11$$

Осредненное значение скорости потока:

$$V_{\text{ср}} = 4,35nd_{\text{м}} \left(\frac{z\xi}{\Gamma_D^2 \gamma} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.2.5)$$

где $\xi = 3$ - коэффициент сопротивления шестилопастной мешалки [13];

$z = 2$ - принимаем количество мешалок на валу.

$$V_{\text{ср}} = 4,35 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot \left(\frac{2 \cdot 3}{3^2 \cdot 11} \right)^{\frac{1}{3}} = 4,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Мощность, потребляемая мешалкой при перемешивании:

$$N = K_N \rho n^3 d_{\text{м}}^5, \quad (3.2.6)$$

где $K_N = 0,38$ - критерий мощности [15]

$$N = 0,38 \cdot 960 \cdot 3^3 \cdot 0,8^5 = 3\,228 \text{ Вт}$$

Мощность привода мешалки [16]:

$$N_p = \frac{K_p \cdot K_v \cdot N \cdot \sum K_i + N_{\text{уп}}}{\eta}, \quad (3.2.7)$$

где $K_p = 1,25$ - коэффициент для аппаратов без перегородок;

K_v - коэффициент уровня жидкости в аппарате;

$K_i = 1,1$ - коэффициент, учитывающий наличие внутренних устройств;

$N_{ур}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление трения в уплотнениях вала мешалки;

η - КПД привода мешалки, принимаем $\eta = 0,85$.

Коэффициент уровня жидкости в мешалке:

$$K_v = \left(\frac{H}{D}\right)^{0,5}, \quad (3.2.8)$$

где $H = 3$ м - высота уровня жидкости в аппарате.

$$K_v = \left(\frac{3}{2,4}\right)^{0,5} = 1,12$$

Составляющая мощности:

$$N_1 = K_p \cdot K_v \cdot N \cdot K_i \quad (3.2.9)$$

$$N_1 = 1,25 \cdot 1,12 \cdot 3\,228 \cdot 1,1 = 4\,962 \text{ Вт}$$

Расчетный крутящий момент:

$$M_{кр} = \frac{N_1}{\omega}, \quad (3.2.10)$$

где $\omega = 4,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - скорость движения жидкости.

$$M_{кр} = \frac{4\,962}{4,1} = 1\,210 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Так как материал вала мешалки - сталь 40ХН. Отсюда допускаемое напряжение на кручение материала вала [17] $\tau_{доп} = 190 \cdot 10^6$ Па.

Диаметр вала мешалки:

$$d_v = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{\tau_{доп}}}, \quad (3.2.11)$$

$$d_v = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{1\,210}{190 \cdot 10^6}} = 0,032 \text{ м}$$

Принимаем диаметр вала мешалки [18] $d_v = 0,050$ м.

Мощность, затрачиваемая на преодоление трения в уплотнениях вала мешалки [19]:

$$N_{up} = 6020 \cdot d_b^{1,3}, \quad (3.2.12)$$

$$N_{up} = 6020 \cdot 0,05^{1,3} = 112,53 \text{ Вт}$$

Тогда мощность привода мешалки по формуле (3.2.7):

$$N_p = \frac{1,25 \cdot 1,12 \cdot 4\,962 \cdot 1,1 + 112,5}{0,85} = 5\,981 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

Принимаем мотор-редуктор [20] МР1-315-16-200 с мощностью 18,5 кВт.

3.3 Тепловой расчет

Тепловой баланс в общем случае определяется уравнением [21]:

$$\sum Q_{пр} = \sum Q_{расх} + Q_{пот}, \quad (3.3.1)$$

где $Q_{пр}$ - физическое тепло, вносимое в аппарат, $\frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$;

$Q_{расх}$ - физическое тепло, уносимое из аппарата продуктами реакции, $\frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$;

$Q_{пот}$ - тепло, теряемое в окружающую среду, $\frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$.

В процессе полимеризации в аппарат тепло приходит с реагентами и вследствие экзотермической химической реакции. Следовательно:

$$\sum Q_{пр} = Q_p + Q_{вн} + Q_m, \quad (3.3.2)$$

где Q_p - тепло, образующееся в результате полимеризации, $\frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$;

$Q_{вн}$ - тепло, вносимое в аппарат реагентами, $\frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$;

$Q_m = 66,6 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$ - тепло, вводимое в аппарат перемешивающим устройством, равное мощности мешалки в $\frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$.

Теплоту образования химической реакции можно определить через энтальпии веществ:

$$Q_p = k \cdot G_{прод} \cdot (-\Delta H), \quad (3.3.3)$$

где ΔH - разность энтальпий продуктов, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; энтальпия

хлоропрена [14] $H_{хл} = 195000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; энтальпия полихлоропрена $H_{пхл} = 84000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

						ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			33

$$Q_p = 10\,160 \cdot (-(84000 - 195000)) \cdot 0,7 = 8,181 \cdot 10^8 \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$$

Тепло, вносимое в аппарат с материальным потоком

$$Q_{\text{вн}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (3.3.4)$$

где Q_1 - тепло, вносимое эмульсией хлоропрена, $\frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$;

Q_2 - тепло, вносимое первым активатором полимеризации, $\frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$;

Q_3 - тепло, вносимое инициатором полимеризации, $\frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$;

Q_4 - тепло, вносимое вторым активатором полимеризации, $\frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$.

Тепло, вносимое i -ым потоком [8]:

$$Q_{\text{вн } i} = G_i \cdot t_n \cdot C_i, \quad (3.3.5)$$

где $G_{\text{вн}}$ - расход всех веществ на полимеризацию, $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$;

t_n - начальная температура поступающих в реактор веществ, $^{\circ}\text{C}$;

m_i - доля веществ в исходной смеси;

C_i - средняя удельная теплоемкость вещества, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$.

Теплоемкость веществ, взятых по справочнику [22], можно определить по следующей формуле по правилу аддитивности:

$$C_i = \sum(m_i \cdot c_i), \quad (3.3.6)$$

Тогда теплоемкость веществ:

$$C_1 = \frac{37,80 \cdot 837}{100} + \frac{0,28 \cdot 565}{100} + \frac{1,51 \cdot 2260}{100} + \frac{4,73 \cdot 920}{100} + \frac{1,13 \cdot 3726}{100} + \frac{13,42 \cdot 4187}{100} = 957,5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$$

$$C_2 = \frac{0,64 \cdot 4086}{100} + \frac{13,42 \cdot 4187}{100} = 588,1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$$

$$C_3 = \frac{0,23 \cdot 789}{100} + \frac{13,42 \cdot 4187}{100} = 563,7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$$

$$C_4 = \frac{0,01 \cdot 952}{100} + \frac{13,42 \cdot 4187}{100} = 561,9 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$$

Тогда поток тепла, вносимый с исходными компонентами по формуле (3.3.5):

$$Q_{\text{вн } 1} = (14518 + 108,9 + 580,7 + 1815 + 435,5 + 5155) \cdot (10 + 275) \cdot 957,5$$

$$= 6,127 \cdot 10^9 \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$$

$$Q_{\text{вн } 2} = (246,8 + 5155) \cdot (10 + 275) \cdot 588,1 = 8,988 \cdot 10^8 \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$$

$$Q_{\text{вн } 3} = (87,1 + 5155) \cdot (10 + 275) \cdot 563,7 = 8,361 \cdot 10^8 \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$$

$$Q_{\text{вн } 4} = (4,4 + 5155) \cdot (10 + 275) \cdot 561,9 = 8,204 \cdot 10^8 \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$$

Тепло, вносимое в аппарат с материальным потоком по формуле (3.3.4):

$$Q_{\text{вн}} = 6,127 \cdot 10^9 + 8,988 \cdot 10^8 + 8,361 \cdot 10^8 + 8,204 \cdot 10^8 = 8,682 \cdot 10^9 \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$$

Приход тепла по формуле (3.3.2):

$$\sum Q_{\text{пр}} = 8,181 \cdot 10^8 + 8,682 \cdot 10^9 + 66,6 \cdot 10^6 = 9,567 \cdot 10^9 \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$$

Также в процессе протекания реакции тепло отводится раствором в рубашке и уносится из аппарата продуктами реакции. Следовательно:

$$\sum Q_{\text{расх}} = Q_{\text{вых}} + Q_{\text{руб}}, \quad (3.3.7)$$

где $Q_{\text{вых}}$ - тепло, уносимое из аппарата продуктами реакции, $\frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$;

$Q_{\text{руб}}$ - тепло, отводимое раствором в рубашке, $\frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$.

При этом тепло, уносимое из аппарата продуктами реакции, определяется по следующей формуле:

$$Q_{\text{вых}} = G_{\text{вых}} \cdot t_p \cdot C_{\text{вых}}, \quad (3.3.8)$$

где $G_{\text{вых}}$ - расход оставшихся веществ после полимеризации, $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$;

t_p - температура в реакторе, $^{\circ}\text{C}$;

m_i - доля веществ в полученной смеси; \bar{c}_i - средняя удельная теплоемкость вещества, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$.

Теплоемкость веществ, взятых по справочнику [22], можно определить по формуле 3.3.6:

$$C_{\text{вых}} = \frac{11,32 \cdot 837}{100} + \frac{26,2 \cdot 920}{100} = 335,8 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$$

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Тогда по формуле (3.3.8):

$$Q_{\text{вых}} = (4355 + 10162,6) \cdot (10 + 273) \cdot 335,8 = 1,38 \cdot 10^9 \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$$

Потери тепла в окружающую среду при неизвестных размерах аппарата можно определить как 3-5% от максимального значения суммы вносимого тепла [10]:

$$Q_{\text{пот}} = 0,05 \cdot \sum Q_{\text{вн}}, \quad (3.3.9)$$

$$Q_{\text{пот}} = 0,05 \cdot 8,682 \cdot 10^9 = 4,341 \cdot 10^8 \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$$

Теплоту, уносимую раствором в рубашке, можно определить из общего уравнения, подставляя в него предыдущие:

$$Q_{\text{руб}} = \sum Q_{\text{пр}} - Q_{\text{пот}} - Q_{\text{вых}} \quad (3.3.10)$$

$$Q_{\text{руб}} = 9,567 \cdot 10^9 - 4,341 \cdot 10^8 - 1,38 \cdot 10^9 = 7,753 \cdot 10^9 \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$$

Отсюда можно определить расход воды в рубашке [10]:

$$G_{\text{руб}} = \frac{Q_{\text{руб}}}{c \cdot t}, \quad (3.3.11)$$

где c - теплоемкость воды, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

t - температура воды в рубашке, $^{\circ}\text{C}$.

Тогда:

$$G_{\text{руб}} = \frac{7,753 \cdot 10^9}{4191 \cdot (10 + 273)} = 6\,537 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Результаты расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Тепловой баланс процесса полимеризации.

Приход			Расход		
Статья баланса	$Q, \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$	%	Статья баланса	$Q, \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$	%
1. Теплота, вводимая с сырьем, $Q_{\text{вн}}$	$8,682 \cdot 10^9$	90,76	1. Теплота, выводимая из аппарата с продуктом, $Q_{\text{вых}}$	$1,38 \cdot 10^9$	14,43

Продолжение таблицы 4

Приход			Расход		
Статья баланса	$Q, \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$	%	Статья баланса	$Q, \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$	%
2. Теплота, выделяющаяся при реакции полимеризации, Q_p	$8,181 \cdot 10^8$	8,56	2. Потери тепла в окружающую среду, $Q_{\text{пот}}$	$4,341 \times 10^8$	4,54
3. Тепло, вносимое мешалкой, Q_m	$66,6 \cdot 10^6$	0,68	3. Теплота, выводимая рубашкой, $Q_{\text{руб}}$	$7,753 \times 10^9$	81,03
Итого, $\sum Q_{\text{пр}}$	$9,567 \times 10^9$	100	Итого, $\sum Q_{\text{расх}}$	$9,567 \times 10^9$	100

Определим необходимую поверхность теплопередачи по уравнению теплопередачи [20]:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{\text{ср}}}, \quad (3.3.12)$$

где $Q = 9,501 \cdot 10^9 \frac{\text{Дж}}{\text{ч}}$ или $2,6 \cdot 10^6$ Вт - поток тепла, Вт;

K - коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

$\Delta t_{\text{ср}}$ - средняя температура теплоносителей.

Коэффициент теплопередачи определяется по формуле [24]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_c} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_T}}, \quad (3.3.13)$$

где α_c - коэффициент теплоотдачи от перемешиваемой среды к стенке аппарата, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

α_T - коэффициент теплоотдачи от стенки аппарата охлаждающему агенту, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

$\sum \frac{\delta}{\lambda}$ - сумма термических сопротивлений стенки и загрязнений.

Где термические сопротивления вычисляются по формуле:

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2}, \quad (3.3.14)$$

где $s_1 = 0,006$ м - толщина стенки аппарата из механического расчета;

$s_2 = 0,002$ м - толщина слоя накипи, принимается конструктивно;

$\lambda_1 = 20 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ - коэффициент теплопроводности материала [17];

$\lambda_2 = 2 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ - коэффициент теплопроводности накипи [17]

Тогда термическое сопротивление:

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,006}{20} + \frac{0,002}{2} = 0,0013 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Коэффициент теплоотдачи от реакционной массы к стенке аппарата при использовании быстроходных мешалок [10]:

$$\alpha_c = a_2 N^{0,29} D^{(-0,71)} + a_3 N^{0,18} D^{0,82}, \quad (3.3.15)$$

где a_2 и a_3 – вспомогательные коэффициенты;

$N = 11$ кВт – мощность привода мешалки.

Коэффициенты рассчитываются по формулам:

$$a_2 = 0,0237 a_1 \rho^{0,58} \mu^{-0,54} \quad (3.3.16)$$

$$a_3 = 0,93 a_1 \rho^{0,36} \mu^{-0,24} \quad (3.3.17)$$

$$a_1 = (c \lambda^2)^{0,33} \quad (3.3.18)$$

где $c = 1382 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ - теплоемкость реагентов;

$\lambda = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ - теплопроводность;

$\mu = 0,64 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ - кинематическая вязкость [23].

$$a_1 = (1382 \cdot (18 \cdot 10^{-3})^2)^{0,33} = 0,77$$

$$a_2 = 0,0237 \cdot 0,77 \cdot 960^{0,58} \cdot (0,64 \cdot 10^{-3})^{-0,54} = 56,73$$

$$a_3 = 0,93 \cdot 0,77 \cdot 960^{0,36} \cdot (0,64 \cdot 10^{-3})^{-0,24} = 51,43$$

Тогда коэффициент теплоотдачи от реакционной массы к стенке аппарата по формуле (3.3.13):

$$\begin{aligned} \alpha_c &= 51,95 \cdot (18,5 \cdot 10^3)^{0,29} \cdot 2,4^{(-0,71)} + 49,56 \cdot (18,5 \cdot 10^3)^{0,18} \cdot 2,4^{0,82} = \\ &= 1145 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \end{aligned}$$

Коэффициент теплоотдачи от воды в цилиндрической рубашке к стенке аппарата:

$$\alpha_T = C_s \lambda_T (Gr \cdot Pr)^f \cdot H^{-1}, \quad (3.3.19)$$

где C_s, f - вспомогательные коэффициенты;

$Gr \cdot Pr$ - произведение критериев Грасгофа и Прандтля;

$H = 3,7$ м - высота цилиндрической части рубашки.

$\lambda_T = 0,612 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ - коэффициент теплопроводности воды [22].

Средняя температура теплоносителя:

$$T_{\text{cp}} = 0,5(T_K + T_H), \quad (3.3.20)$$

где $T_K = 298$ К, $T_H = 283$ К - конечная и начальная температуры теплоносителя.

$$T_{\text{cp}} = 0,5(298 + 283) = 290,5 \text{ К}$$

Средняя температура стенки:

$$T_{\text{ст}} = 0,5(T + T_{\text{cp}}), \quad (3.3.21)$$

где $T = 313$ К - температура среды в аппарате.

$$T_{\text{ст}} = 0,5(313 + 290,5) = 301,75 \text{ К}$$

Вспомогательный параметр:

$$\Delta = 9,81 \cdot \beta_T \cdot \rho_T^2 \cdot C_T \cdot (\mu_T \cdot \lambda_T)^{-1}, \quad (3.3.22)$$

где $\beta_T = 3 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$ - коэффициент объемного расширения воды [14];

$\rho_T = 996 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ - плотность воды [14];

$C_T = 4174 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ - теплоемкость воды;

$\mu_T = 0,801 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ - коэффициент динамической вязкости воды [22]

$$\Delta = 9,81 \cdot 3 \cdot 10^{-4} \cdot 996^2 \cdot 4174 \cdot (0,801 \cdot 10^{-6} \cdot 0,612)^{-1} = 2,49 \cdot 10^{13}$$

Произведение критериев Грасгофа и Прандтля:

$$Gr \cdot Pr = H^3 \cdot (T_{\text{ст}} - T_{\text{cp}}) \cdot \Delta \quad (3.3.23)$$

$$Gr \cdot Pr = 3,7^3 \cdot (301,75 - 290,5) \cdot 2,49 \cdot 10^{13} = 1,42 \cdot 10^{16}$$

Так как произведение критериев более, чем $2 \cdot 10^7$, то вспомогательные коэффициенты [1] равны $C_s = 0,135$, $f = 0,330$.

Тогда коэффициент теплоотдачи по формуле (3.3.17):

$$\alpha_T = 0,135 \cdot 0,612 \cdot (1,42 \cdot 10^{16})^{0,330} \cdot 3,7^{-1} = 4773 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Отсюда коэффициент теплопередачи по формуле (3.3.11):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1145} + 0,0013 + \frac{1}{4773}} = 419,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Средний температурный напор:

$$\Delta T_{\text{ср}} = \frac{\Delta T_{\text{Б}} - \Delta T_{\text{М}}}{\ln \left(\frac{\Delta T_{\text{Б}}}{\Delta T_{\text{М}}} \right)}, \quad (3.3.24)$$

где $\Delta T_{\text{Б}}$ и $\Delta T_{\text{М}}$ - соответственно большая и меньшая разности температур теплоносителя и перемешиваемой среды на входе и на выходе.

$$\Delta T_{\text{М}} = 40 - 25 = 15$$

$$\Delta T_{\text{Б}} = 40 - 10 = 30$$

$$\Delta T_{\text{ср}} = \frac{30 - 15}{\ln \left(\frac{30}{15} \right)} = 24,64$$

Тогда необходимая поверхность теплопередачи по формуле (3.3.10):

$$F = \frac{2,639 \cdot 10^6}{419,7 \cdot 24,64} = 290,6 \text{ м}^2$$

Так как аппаратов 7, то площадь поверхности передачи одного аппарата - 41,5 м².

Площадь поверхности теплопередачи для цилиндрической обечайки корпуса аппарата и эллиптического днища корпуса [22].

$$F = 2 \cdot \pi \cdot \frac{D}{2} \cdot \left(\frac{D}{2} + H \right) + 2 \cdot \pi \cdot \left(b + \frac{a \cdot \arcsin \left(\frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \right)}{\frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}} \right) \quad (3.3.25)$$

$$F = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{2,4}{2} \cdot \left(\frac{2,4}{2} + 3 \right) + 2 \cdot \frac{3,14 \cdot \left(0,6 + \frac{1,2 \cdot \arcsin \left(\frac{\sqrt{1,2^2 - 0,6^2}}{1,2} \right)}{\frac{\sqrt{1,2^2 - 0,6^2}}{1,2}} \right)}{2} =$$

$$= 44,5 \text{ м}^2$$

Следовательно, контактная поверхность больше расчетной, что обеспечивает достаточный теплообмен.

3.4 Конструктивный расчет

Диаметр рубашки можно определить по следующей формуле:

$$D_p = D + 2 \cdot s_k + h, \quad (3.4.1)$$

где $D = 2,4$ м - диаметр аппарата;

$s_k = 0,006$ м - толщина станки корпуса;

$h = 0,040$ м - расстояние между рубашкой и корпусом [25].

$$D_p = 2,4 + 2 \cdot 0,006 + 2 \cdot 0,040 = 2,5 \text{ м}$$

Диаметр патрубков для ввода и вывода среды определяются по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho \cdot 3600}}, \quad (3.4.2)$$

где $G = 10\,270 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ - расход исходных веществ;

$\omega = 4,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - скорость движения веществ;

$\rho = 960 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ - плотность веществ исходных.

Пример расчета для ввода реакционной эмульсии

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot (14520 + 108,9 + 580,7 + 1812 + 435,5 + 5154)}{3,14 \cdot 4,1 \cdot 960 \cdot 3600}} = 0,045 \text{ м}$$

Аналогично рассчитывается для других реагентов. Результат расчета приведен в таблице 5 с данными, взятыми по [26] для штуцера типа 1, исполнения 1 и люка-лаза по ОСТ 26-2002-83 [27].

Таблица 5 - Диаметры технологических штуцеров

Обозначение	Назначение	$d_{\text{расч}}$	D_y	$d_{\text{вн}}$	s
А	Ввод в реактор эмульсии	45	50	59	4,0
Б	Ввод первого активатора полимеризации	22	25	33	3,5
В	Ввод инициатора полимеризации	22	25	33	3,5
Г	Ввод второго активатора полимеризации	22	25	33	3,5
Д	Ввод стабилизатора	22	25	33	3,5

Продолжение таблицы 5

Обозначение	Назначение	$d_{расч}$	D_y	$d_{вн}$	s
Е	Вывод полимера	30	32	39	3,5
Ж	Ввод воды в рубашку	24	25	33	3,5
З	Вывод воды из рубашки	24	25	33	3,5
И	Люк-лаз		400		4

Также данные об основных размерах аппарата представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Основные параметры реактора

Параметр	Диаметр аппарата	Высота аппарата	Диаметр рубашки	Высота рубашки	Диаметр мешалки	Диаметр вала
Значение, м	2,4	4	2,5	3,7	0,8	0,05

4 Выбор конструктивных материалов

Процессы в химической технологии, в том числе полимеризация, характеризуются работой под давлением с агрессивными средами, поэтому требования к материалам проектируемого оборудования более высокие.

Материалы должны обладать коррозионной устойчивостью в среде, иметь высокую механическую прочность, удовлетворительную пластичность, малой склонности к старению и др. [29].

Наиболее подходящими материалами корпуса аппарата и всех элементов, контактирующих с реакционной средой, по таблицам [29] является сталь марок 08X13, 12X13, 08X18T1. При уточнении выбора материала по ГОСТ 5632-2014 [30] наиболее подходящей можно считать сталь 08X18T1, так как среда слабоагрессивная и температура не превышает 40 °С. В настоящее время аналогом стали является сталь 08X18H10T.

Материалом для рубашки и штуцеров подачи воды можно принять Ст3, так как сталь относительно недорогая, а среда не агрессивная.

Материалом вала принимаем сталь 40ХН, являющуюся распространённым материалом для валов, обладающую достаточным допускаемым напряжением.

Подходящим для изготовления болтов и фланцев материалом принимаем сталь 30ХМ, имеющую достаточное допускаемое напряжение.

Для изготовления прокладок принимаем паронит общего назначения ПОН [31].

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Выполнил	Кузеванова А.				Выбор конструктивных материалов			Лит.	Лист	Листов	
Провер.	Беляев В. М.							Л		44	138
Н. Контр.								ТПУ ИШНПТ НОЦ Н. М. Кижнера Группа 4Г6Б			
Утверд.											

4.1 Определение расчетных параметров материалов

Температура реакционной смеси в корпусе поддерживается равной 40 °С. Следовательно, расчетную температуру можно определить по условию [32]:

$$t_p = \max(t, 20), \quad (4.1.1)$$

где t - температура рабочая, °С.

Тогда температура реакционной смеси:

$$t_p = \max(40, 20) = 40 \text{ °С}$$

Максимальную температуру в рубашке также принимаем равной 40 °С.

Допускаемое напряжение для хромомолибденовых сталей можно определить по формуле [32]:

$$\sigma_d = \min\left(\frac{R_{p0,2/t}}{n_t}; \frac{R_m}{n_b}\right), \quad (4.1.2)$$

где $R_{p0,2/t} = 590$ МПа - условный предел текучести при остаточном удлинении 0,2 % при расчетной температуре [35];

n_t - коэффициент запаса прочности по пределу текучести в рабочих условиях;

$R_m = 730$ МПа - временное сопротивление текучести, [35];

n_b - коэффициент запаса прочности.

$$\sigma_d = \min\left(\frac{590}{1,5}; \frac{730}{2,4}\right) = 305 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для других сталей по приложению А [32] равны для стали 08Х18Н10Т - 165 МПа, Ст3 - МПа. Допускаемые напряжение при 20 °С также определяются по приложению.

Так как аппарат изготавливается из листового материала, то поправочный коэффициент $\eta = 1$.

В условиях гидравлических испытаний допускаемое напряжение:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{R_{p0,2/t}}{n_t}, \quad (4.1.3)$$

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

где n_t - коэффициент запаса прочности в условиях испытаний.

Тогда для стали 30ХМА:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{590}{1,1} = 537 \text{ МПа}$$

Для остальных сталей расчет аналогичен.

Характеристики выбранных материалов приведены в таблице 7, где модуль упругости и коэффициент расширения из приложения [32].

Таблица 7 - Характеристики конструкционных материалов

Материал	σ_d , МПа	$\sigma_{\text{и}}$, МПа	E, 10^5 МПа	α , $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
08Х18Н10Т	165	230	1,96	16,6
Ст3	152,7	228	1,97	11,6
30ХМА	305	537	2,08	11,6

Характеристики прокладки представлены в таблице 8 [41].

Таблица 8 - Характеристики прокладки

h_p , мм	D_{pr} , мм	D_2 , мм
3	2444	2413

4.2 Определение прибавки к толщине стенки

Общее значение прибавки рассчитывается по формуле [25]:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (4.2.1)$$

где c_1 - прибавка на коррозию и эрозию при проникаемости $\Pi \leq 0,05$ мм/год и при отсутствии данных принимается равной 1 мм;

c_2 - прибавка на округление для соответствия стандарту - ГОСТ 19903-2015 [33], мм;

c_3 - технологическая прибавка, мм.

Так как прибавка на эрозию и технологическая прибавка учитываются только когда их сумма превышает 5 % от расчетной толщины [25], то ими можно пренебречь.

Тогда общее значение прибавки без учета прибавки на округление равна $c = 1$ мм

5 Механический расчет реактора полимеризации хлоропрена

Цель механического расчета - определение размеров элементов и обеспечение механической надежности работы аппарата.

Расчетная схема аппарата представлена на рисунке 13.

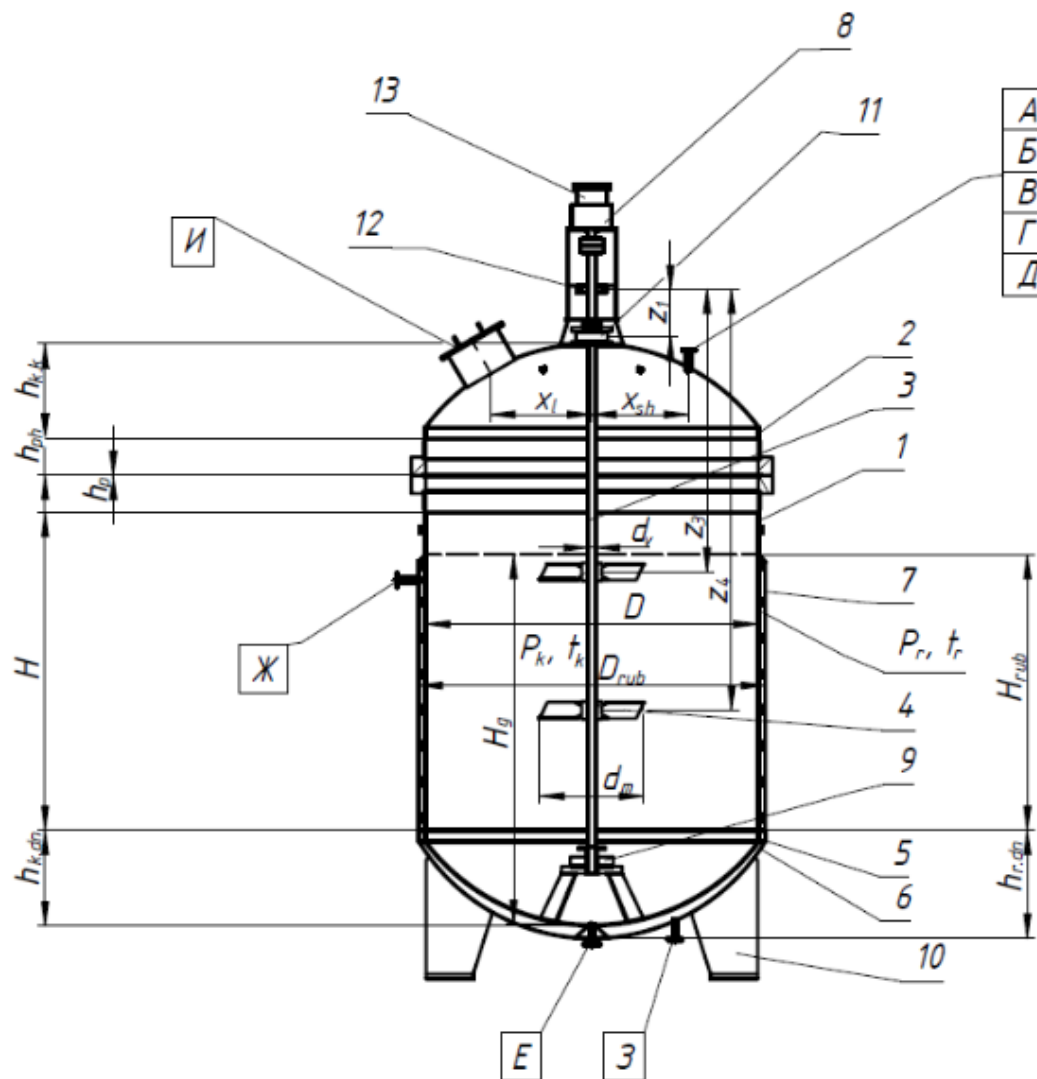


Рисунок 13 - Расчетная схема аппарата: 1 - обечайка корпуса цилиндрическая; 2 - крышка корпуса эллиптическая; 3 - вал; 4 - обечайка рубашки цилиндрическая; 5 - днище корпуса эллиптическое; 6 - днище рубашки эллиптическое; 7 - обечайка рубашки цилиндрическая; 8 - опорная стойка; 9 -концевая опора вала; 10 - опора-стойка; 11 - торцевое уплотнение

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ											
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата												
Выполнил		Кузеванова А.			Результаты разработки					Лит.		Лист		Листов		
Провер.		Беляев В. М.								Д			103		138	
Н. Контр.																
Утверд.																
					ТПУ ИШНПТ НОЦ Н. М. Кижнера Группа 4Г6Б											

5.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки корпуса

Расчетная схема обечайки при действии внутреннего давления представлена на рисунке 14, при действии наружного давления на рисунке 16, номер позиции на расчетной схеме аппарата - 1. Расчет производится по ГОСТ 34233.2-2017 [36].

Цель расчета - нахождение толщины стенки, при которой обеспечивается прочность и устойчивость корпуса аппарата.

Исходные данные для расчета:

- плотность среды в аппарате, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho = 960$;
- внутреннее рабочее давление в аппарате, МПа, $P_k=0,2$;
- рабочее давление в рубашке, МПа, $P_{rub}=0,3$;
- ускорение свободного падения, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, $g = 9,8$;
- внутренний диаметр аппарата, м, $D = 2,4$;
- высота цилиндрической части, м, $H=4$;
- диаметр рубашки внутренний, м, $D_{rub}=2,5$;
- плотность воды в рубашке, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho_v = 992$;
- допускаемое напряжение для стали 08X18H10T в рабочих условиях, МПа, $\sigma_{d.k} = 165$ (таблица 7);
- допускаемое напряжение для стали 08X18H10T в условиях испытаний, МПа, $\sigma_{ik} = 230$ (таблица 7);
- модуль нормальной упругости для стали 08X18H10T при рабочей температуре $E_k = 196 \cdot 10^3$ (таблица 7);
- общее значение прибавки, с = 1 мм (пункт 4.2);
- коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий, $n_y = 2,4$ [35];
- коэффициент запаса устойчивости для условий испытаний, $n_y = 1,8$ [35];

5.1.1 Расчет толщины стенки при действии наружного давления

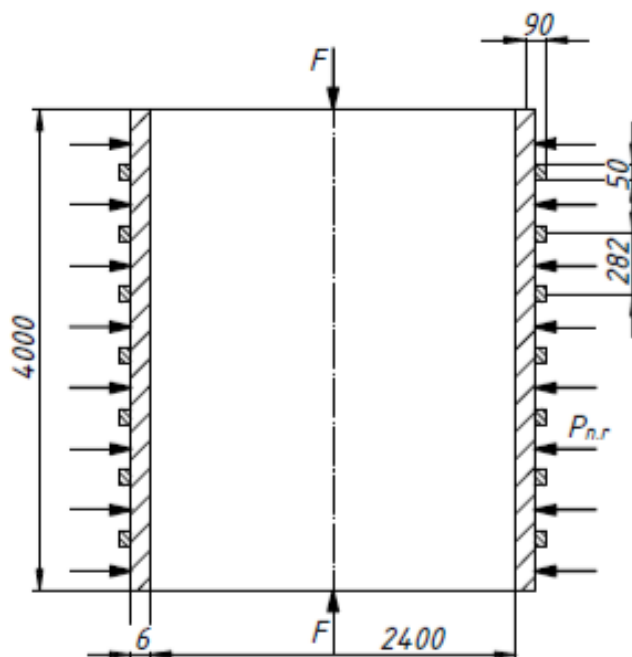


Рисунок 14 - Расчетная схема гладкой обечайки

Проверка условия устойчивости в рабочих условиях проводится по формуле[36]:

$$\frac{P_{n.r}}{P_d} + \frac{F}{F_d} \leq 1 \quad (5.1.1)$$

где $P_{n.r}$ - расчетное значение наружного давления, МПа;

P_d - допускаемое значение наружного давления, МПа;

F - осевое сжимающее усилие, МН;

F_d - допускаемое осевое сжимающее усилие в рабочих условиях, МН.

А также проверка условие устойчивости в условиях испытаний [36]:

$$\frac{P_{n.r}}{P_{di}} + \frac{F}{F_{di}} \leq 1 \quad (5.1.2)$$

где P_{di} - допускаемое наружное давление в условиях испытаний, МПа;

F_{di} - допускаемое осевое сжимающее усилие в условиях испытаний, МН.

Расчетное значение внутреннего избыточного давления:

$$P_{v.r} := P_k + \frac{\rho \cdot g \cdot H}{10^6}, \quad (5.1.3)$$

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

48

$$P_{v.r} := 0.2 + \frac{960 \cdot 9.8 \cdot 4}{10^6} = 0.238 \text{ МПа}$$

Расчетное значение наружного избыточного давления в рубашке:

$$P_{n.r} := P_{rub} + \frac{\rho_v \cdot g \cdot H_{rub}}{10^6}, \quad (5.1.4)$$

$$P_{n.r} := 0.3 + \frac{992 \cdot 9.8 \cdot 3}{10^6} = 0.329 \text{ МПа}$$

Так как $P_{v.r}$ меньше $P_{n.r}$, то аппарат работает под наружным давлением.

Пробное давление при гидравлическом испытании внутри аппарата:

$$P_i := 1.25 \cdot P_k \cdot \frac{\sigma_{ik}}{\sigma_{d.k}}, \quad (5.1.5)$$

$$P_i := 1.25 \cdot 0.2 \cdot \frac{230}{165} = 0.348 \text{ МПа}$$

Безразмерный коэффициент для расчета толщины стенки:

$$B := \max \left[1, 0.47 \cdot \left(\frac{P_{n.r}}{10^{-5} \cdot E_k} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{H}{D} \right)^{0.4} \right], \quad (5.1.6)$$

$$B := \max \left[1, 0.47 \cdot \left(\frac{0.3291648}{10^{-5} \cdot 196 \cdot 10^3} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{4}{2.4} \right)^{0.4} \right] = 1$$

Расчетная толщина стенки:

$$s_{k.r} := \max \left[1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left(\frac{P_{n.r}}{10^{-5} \cdot E_k} \cdot \frac{H}{D} \right), \frac{1.2 \cdot P_{n.r} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{d.k} - P_{n.r}} \right], \quad (5.1.7)$$

$$s_{k.r} := \max \left(1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot 2.4}{1} \cdot \frac{0.3291648}{10^{-5} \cdot 196 \cdot 10^3} \cdot \frac{4}{2.4}, \frac{1.2 \cdot 0.3291648 \cdot 2.4}{2 \cdot 165 - 0.3291648} \right) = 7.121 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Исполнительная толщина стенки

$$s_k \geq s_{k.r} + c, \quad (5.1.8)$$

$$s_k \geq 7.121 \times 10^{-3} + 1,$$

$$s_k \geq 8.121 \times 10^{-3},$$

По ГОСТ 19903-2015 [33] принимаем соответствующее значение проката - 9 мм.

									Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	49

Для уменьшения толщины стенки рассчитаем обечайку с рёбрами жесткости. Расчетная схема такой обечайки представлена на рисунке 15.

Принимаем толщину стенки обечайки с ребрами жесткости равную 6 мм.

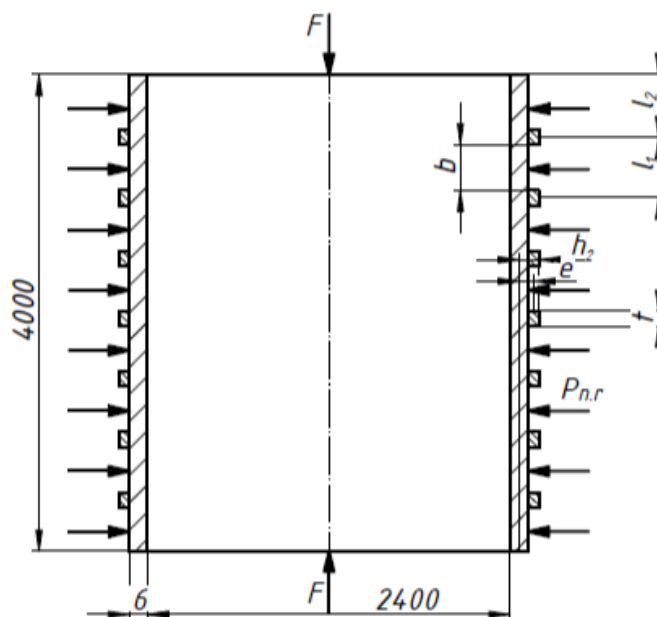


Рисунок 15 - Расчетная схема обечайки, подкрепленной кольцами жесткости

Принимаем число ребер жесткости $n = 15$, ширину поперечного сечения кольца жесткости в месте его приварки к обечайке $t = 0,030$ м (рисунок 12), высоту сечения кольца жесткости, измеряемая от срединной поверхности обечайки $h_2 = 0,050$ м.

Тогда расстояние между кольцами жесткости:

$$l_1 := \frac{H - t_{\text{rebr}}}{n - 1}, \quad (5.1.9)$$

$$l_1 := \frac{4 - 0.050}{15 - 1} = 0.282 \text{ м}$$

Расстояние между крайними кольцами жесткости и следующими эффективными элементами жесткости принимаем равное расстоянию между кольцами жесткости $l_2 = 0,282$ м.

Площадь поперечного сечения кольца жесткости:

$$A_k := t_{\text{rebr}} \cdot h_2, \quad (5.1.10)$$

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

50

$$A_k := 0.050 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ м}^2$$

Расстояние между двумя смежными кольцами жесткости:

$$b := l_1 - t_{\text{rebr}}, \quad (5.1.11)$$

$$b := 0.282 - 0.050 = 0.232 \text{ м}$$

Момент инерции поперечного сечения кольца жесткости относительно оси, проходящей через центр тяжести поперечного сечения кольца (относительно оси X-X):

$$I_k := \frac{t_{\text{rebr}} \cdot h_2^3}{12}, \quad (5.1.12)$$

$$I_k := \frac{0.050 \cdot (30 \cdot 10^{-3})^3}{12} = 1.125 \times 10^{-7} \text{ м}^4$$

Расстояние от центра тяжести поперечного сечения кольца жесткости до его основания:

$$e := \frac{h_2 + s_k}{2}, \quad (5.1.13)$$

$$e := \frac{30 \cdot 10^{-3} + 6 \cdot 10^{-3}}{2} = 0.018 \text{ м}$$

Эффективная длина стенки обечайки:

$$l_e := \min \left[l_1, t_{\text{rebr}} + 1.1 \cdot \sqrt{D \cdot (s_k - c)} \right], \quad (5.1.14)$$

$$l_e := \min \left[0.282, 0.050 + 1.1 \cdot \sqrt{2.4 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})} \right] = 0.17 \text{ м}$$

Эффективный момент инерции:

$$I := I_k + \frac{l_1 \cdot (s_k - c)^3}{10.9} + e^2 \cdot \frac{A_k \cdot l_e \cdot (s_k - c)}{A_k + l_e \cdot (s_k - c)}, \quad (5.1.15)$$

$$I := 3.037 \cdot 10^{-6} + \frac{0.282 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})^3}{10.9} + 0.048^2 \cdot \frac{4.5 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})}{4.5 \cdot 10^{-3} + 0.17 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})} = 4.687 \times 10^{-6}$$

Коэффициент жесткости обечайки, подкрепленной кольцами жесткости:

$$k := \sqrt{\frac{10.9 \cdot I}{l_1 \cdot (s_k - c)^3}}, \quad (5.1.16)$$

$$k := \sqrt{\frac{10.9 \cdot 4.687 \cdot 10^{-6}}{0.282 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})^3}} = 38.07$$

Рассчитаем допускаемое давление и допускаемую осевую силу для рабочих условий (при $n_y = 2,8$).

Безразмерный коэффициент для расчета допускаемого давления:

$$B_2 := \min \left[1.0, 9.45 \cdot \frac{D}{H} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot k \cdot (s_k - c)}} \right], \quad (5.1.17)$$

$$B_2 := \min \left[1.0, 9.45 \cdot \frac{2.4}{4} \cdot \sqrt{\frac{2.4}{100 \cdot 38.07 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})}} \right] = 1$$

Допускаемое наружное давление из условий устойчивости в пределах упругости:

$$P_{dE1} := \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot E_k}{k \cdot n_y \cdot B_2} \cdot \frac{D}{H} \cdot \left[\frac{100 \cdot k \cdot (s_k - c)}{D} \right]^{2.5}, \quad (5.1.18)$$

$$P_{dE1} := \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot 196 \cdot 10^3}{38.07 \cdot 2.4} \cdot \frac{2.4}{4} \cdot \left[\frac{100 \cdot 38.07 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})}{2.4} \right]^{2.5} = 4.743 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условий прочности:

$$P_{\text{dP1}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{d.k.}} \cdot (s_{\text{k}} - c) + 2 \cdot \frac{A_{\text{k}}}{l_1} \cdot \sigma_{\text{d.r.}}}{D + (s_{\text{k}} - c)}, \quad (5.1.19)$$

$$P_{\text{dP1}} := \frac{2 \cdot 165 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}) + 2 \cdot \frac{4.5 \cdot 10^{-3}}{0.282} \cdot 152.7}{2.4 + (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})} = 2.712 \text{ MPa}$$

Допускаемое наружное избыточное давление:

$$P_d := \frac{P_{dP1}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{dP1}}{P_{dE1}}\right)^2}}, \quad (5.1.20)$$

Приведенная расчётная длина:

$$l_{pr} := 1.12 \cdot H, \quad (5.1.21)$$

Гибкость элемента

$$\lambda := \frac{2.83 \cdot l_{pr}}{D + s_k - c} \quad (5.1.20)$$

$$\lambda := \frac{2.83 \cdot 4.48}{2.4 + 6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}} = 5.272$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$F_{dE} := 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E_k}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s_k - c)}{D} \right]^{2.5} \quad (5.1.21)$$

$$F_{dE} := 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1.96 \cdot 10^5}{2.4} \cdot 2400^2 \cdot \left(100 \cdot \frac{6 - 1}{2400} \right)^{2.5} = 2.889 \text{ Н}$$

Осевое сжимающее усилие:

$$F := 0.25 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot (D^2) \cdot P_n \quad (5.1.22)$$

$$F := 0.25 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot 2.4^2 \cdot 0.3291648 = 1.489 \times 10^{-6} \text{ МН}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$F_{d\sigma} := \pi \cdot (D + s_k - c) \cdot (s_k - c) \cdot \sigma_{d.k} \quad (5.1.23)$$

$$F_{d\sigma} := \pi \cdot (2.4 + 6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}) \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}) \cdot 165 = 6.233 \text{ МН}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$F_d := \frac{F_{d\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{d\sigma}}{F_{dE}} \right)^2}} \quad (5.1.24)$$

$$F_d := \frac{6.233}{\sqrt{1 + \left(\frac{6.233}{2.889 \cdot 10^{-6}} \right)^2}} = 2.889 \times 10^{-6} \text{ МН}$$

Проверка условия устойчивости (5.1.1):

$$\frac{0.336}{2.354} + \frac{1.489 \cdot 10^{-6}}{2.889 \cdot 10^{-6}} \leq 1$$

$$0.658 \leq 1$$

Условие выполняется, следовательно, толщина стенки обечайки 6 мм и ребра жесткости обеспечивают надежность цилиндрической обечайки корпуса в рабочих условиях.

									Лист
									53
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Аналогично проводится расчет для условий испытаний, но с запасом устойчивости $n_y = 1,8$ и допускаемым напряжением стали $\sigma_{ik} = 230$.

В итоге условие устойчивости (5.1.2):

$$\frac{0.3291648}{3.386} + \frac{1.489 \cdot 10^{-6}}{3.852 \cdot 10^{-6}} \leq 1$$

$$0.484 \leq 1$$

Условие выполняется, следовательно, толщина стенки обечайки 6 мм и ребра жесткости обеспечивают надежность цилиндрической обечайки корпуса и в условиях испытаний.

Проверка применимости формул из стандарта к рассчитываемой обечайке:

$$\frac{s_k - c}{D} \leq 0.1 \quad (5.1.25)$$

$$\frac{6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}}{2.4} \leq 0.1$$

$$2.083 \times 10^{-3} \leq 0.1$$

Условие применимости формул выполняются.

Таким образом, толщина стенки обечайки составляет 6 мм; параметры для ребра жесткости приведены в таблице 9 (по рисунку 15).

Таблица 9 - Параметры колец жесткости

t, мм	n ₂ , мм	l ₂ , мм	n, шт.
50	90	282	15

5.1.2 Проверочный расчет толщины стенки при действии внутреннего давления

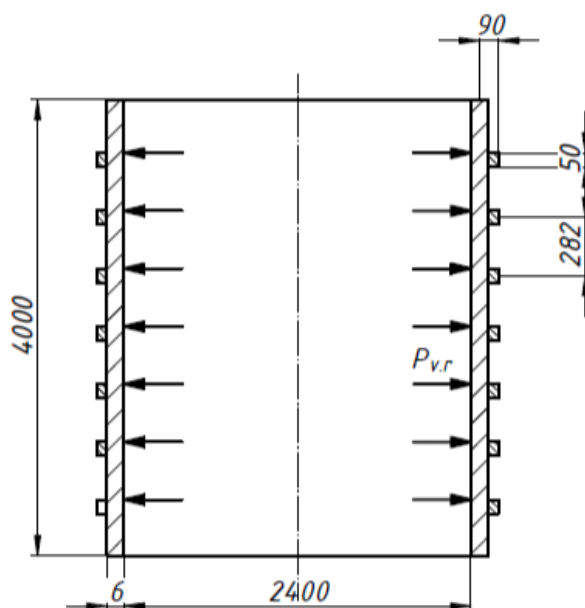


Рисунок 16 - Расчетная схема обечайки при действии внутреннего давления

Проверка условия прочности в рабочих условиях:

$$\frac{P_{v,r}}{P_d} \leq 1 \text{ или } P_{v,r} \leq P_d \quad (5.1.26)$$

где P_d - допускаемое значение внутреннего давления, МПа.

Проверка условия прочности в условиях испытаний:

$$\frac{P_{v,r}}{P_{di}} \leq 1 \text{ или } P_{v,r} \leq P_{di} \quad (5.1.27)$$

где P_{di} - допускаемое значение внутреннего давления в условиях испытаний, МПа.

В рабочих условиях:

Расчетная толщина стенки:

$$s_{k,r} := P_{v,r} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi_r \cdot \sigma_{d,k} - P_{v,r}} \quad (5.1.28)$$

$$s_{k,r} := 0.238 \cdot \frac{2.4}{2 \cdot 0.9 \cdot 165 - 0.238} = 1.925 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_k \geq s_{k,r} + c, \quad (5.1.29)$$

$$s_k \geq 1.925 \times 10^{-3} + 1$$

$$s_k \geq 2.925 \times 10^{-3}$$

По ГОСТ 19903-2015 [6] принимаем соответствующее значение проката 3 мм.

Так как условие устойчивости выполняется при 6 мм, а условие прочности при 3 мм, то принимаем наибольшее значение - 6 мм.

Коэффициент проверки необходимости ребер жесткости:

$$K_4 := \frac{P_{v,r} \cdot (D + s_k - c)}{2 \cdot \phi_r \cdot \sigma_{d,k} \cdot (s_k - c)} - 1, \quad (5.1.30)$$

$$K_4 := \frac{0.238 \cdot (2.4 + 6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})}{2 \cdot 0.9 \cdot 165 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})} - 1 = -0.615$$

Коэффициент меньше 0, следовательно, ребра жесткости не требуются.

Допускаемое внутреннее давление:

$$P_d := \frac{[2 \cdot \sigma_{d,k} \cdot \phi_r \cdot (s_k - c)]}{(D + s_k - c)}, \quad (5.1.31)$$

$$P_d := \frac{2 \cdot 165 \cdot 0.9 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})}{2.4 + 6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}} = 0.617 \text{ МПа}$$

В итоге условие прочности (5.1.26):

$$0.238 \leq 0.617$$

Условие выполняется, следовательно, толщина стенки обечайки 6 мм обеспечивает надежность цилиндрической обечайки корпуса в рабочих условиях.

Аналогично проводится расчет для условий испытаний, но с допускаемым напряжением стали $\sigma_{ik} = 230$.

Также принимаем толщину стенки, равную 6 мм.

В итоге условие прочности (5.1.27):

$$0.238 \leq 0.861$$

Условие выполняется, следовательно, толщина стенки обечайки 6 мм обеспечивает надежность цилиндрической обечайки корпуса и в условиях испытаний.

5.2 Расчёт толщины стенки эллиптического днища корпуса аппарата

Расчетная схема днища при действии внутреннего давления представлена на рисунке 17, при действии наружного давления на рисунке 18, номер позиции на расчетной схеме аппарата - 2. Расчет производится по ГОСТ 34233.2-2017 [36].

Цель расчета - нахождение толщины стенки, при которой обеспечивается прочность и устойчивость аппарата.

Исходные данные для расчета:

- расчетное наружное давление в аппарате, МПа, $P_{n.r}=0,329$ (пункт 5.1);
- Радиус кривизны в вершине днища, м $R = D= 2,4$;
- внутренний диаметр аппарата, м, $D = 2,4$;
- допускаемое напряжение для стали 08X18H10T в рабочих условиях, МПа, $\sigma_{d.k}= 165$ (таблица 7);
- допускаемое напряжение для стали 08X18H10T в условиях испытаний, МПа, $\sigma_{ik}= 230$ (таблица 7);
- модуль нормальной упругости для стали 08X18H10T при рабочей температуре $E_k = 196 \cdot 10^3$ (таблица 7);
- общее значение прибавки, с = 1 мм (пункт 4.2);
- коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий, $n_y = 2,4$ [35];
- коэффициент запаса устойчивости для условий испытаний, $n_y = 1,8$ [35];

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

5.2.1 Расчет толщины стенки днища при действии наружного давления

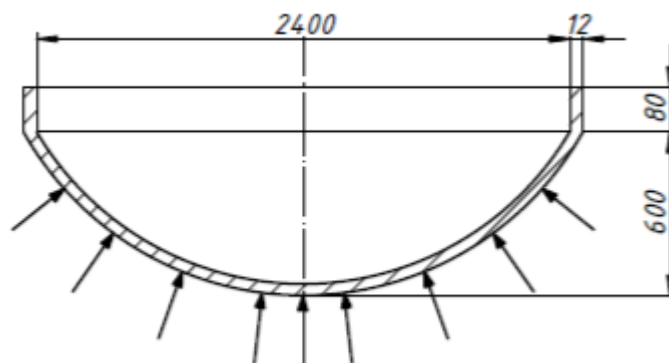


Рисунок 17 - Расчетная схема эллиптического днища при действии наружного давления

Проверка условия устойчивости в рабочих условиях [36]:

$$\frac{P_{n.r}}{P_d} \leq 1 \text{ или } P_{n.r} \leq P_d, \quad (5.2.1)$$

где P_d - допускаемое значение давления для эллиптического днища, МПа;

А также проверка условия устойчивости в условиях испытаний [36]:

$$\frac{P_{n.r}}{P_{di}} \leq 1 \quad (5.1.2)$$

где P_{di} - допускаемое значение давления для эллиптического днища в условиях испытаний, МПа;

Для рабочих условий проведем расчет.

Для предварительного расчета коэффициент приведения радиуса кривизны эллиптического днища K_a принимают равным 0,9.

Предварительная толщина стенки:

$$s_{1p} := \max \left(\frac{K_a \cdot R}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot P_{n.r}}{10^{-5} \cdot E_k}}, \frac{1.2 \cdot P_{n.r} \cdot R}{2 \cdot \sigma_{d.k}} \right), \quad (5.2.3)$$

$$s_{1p} := \max \left(\frac{0.9 \cdot 2.4}{161} \cdot \sqrt{\frac{2.4 \cdot 0.3291648}{10^{-5} \cdot 196 \cdot 10^3}}, \frac{1.2 \cdot 0.3291648 \cdot 2.4}{2 \cdot 165} \right) = 8.518 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_{k.dn} \geq s_{1p} + c, \quad (5.2.4)$$

$$s_{k.dn} \geq 8.518 \times 10^{-3} + 1$$

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

58

$$s_{k.dn} \geq 9.518 \times 10^{-3}$$

Принимаем предварительную толщину стенки днища равную 10 мм.

Коэффициент приведения радиуса кривизны эллиптического днища определяется по формуле:

$$K_a := \frac{1 + (2.4 + 8 \cdot x) \cdot x}{1 + (3.0 + 10 \cdot x) \cdot x}, \quad (5.2.5)$$

где параметр x определяется по следующей формуле:

$$x := 10 \cdot \frac{s_{k.dn} - c}{D} \cdot \left(\frac{D}{2 \cdot H} - \frac{2 \cdot H}{D} \right), \quad (5.2.6)$$

$$x := 10 \cdot \frac{10 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}}{2.4} \cdot \left(\frac{2.4}{2.4} - \frac{2 \cdot 4}{2.4} \right) = -0.114$$

Тогда коэффициент по формуле (5.2.3):

$$K_a := \frac{1 + (2.4 + 8 \cdot (-0.114)) \cdot (-0.114)}{1 + (3.0 + 10 \cdot (-0.114)) \cdot (-0.114)} = 1.054$$

Уточненное значение толщины стенки по формуле (5.2.4):

$$s_{1p} = 9.973 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Тогда исполнительная толщина стенки (5.2.3):

$$s_{k.dn} \leq 9.973 \times 10^{-3} + 1$$

$$s_{k.dn} \leq 0.011$$

По ГОСТ 19903-2015 [33] подбираем соответствующее значение проката - 12 мм.

Допускаемое давление из условия прочности:

$$P_p := \frac{2 \cdot \sigma_{d.k} \cdot (s_{k.dn} - c)}{R + 0.5 \cdot (s_{k.dn} - c)}, \quad (5.2.7)$$

$$P_p := \frac{2 \cdot 165 \cdot (12 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})}{2.4 + 0.5 \cdot (12 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})} = 1.509 \text{ МПа.}$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости:

$$P_E := \frac{2.6 \cdot 10^{-5} \cdot E_k}{n_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_{k.dn} - c)}{K_a \cdot R} \right]^2, \quad (5.2.8)$$

$$P_E := \frac{2.6 \cdot 10^{-5} \cdot 196 \cdot 10^3}{2.4} \cdot \left[\frac{100 \cdot (12 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})}{1.054 \cdot 2.4} \right]^2 = 0.402 \text{ МПа.}$$

Допускаемое давление:

$$P_d := \frac{P_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_p}{P_E} \right)^2}}, \quad (5.2.9)$$

$$P_d := \frac{1.509}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.509}{0.402} \right)^2}} = 0.388 \text{ МПа.}$$

Проверка условия устойчивости (5.2.1):

$$0.329 \leq 0.388$$

Условие выполняется, следовательно, толщина стенки днища 12 мм обеспечивает надежность эллиптического днища корпуса в рабочих условиях.

Аналогично проводится расчет для условий испытаний, но с запасом устойчивости $n_y = 1,8$ и допускаемым напряжением стали $\sigma_{ik} = 230$.

В итоге условие устойчивости (5.2.2):

$$0.329 \leq 0.394$$

Условие выполняется, следовательно, толщина стенки днища 12 мм обеспечивает надежность эллиптического днища корпуса и в условиях испытаний.

Проверка применимости формул из стандарта к рассчитываемой обечайке:

$$0.002 \leq \frac{s_{k.dn} - c}{D} \leq 0.1, \quad (5.2.10)$$

$$0.002 \leq \frac{12 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}}{2.4} \leq 0.1,$$

$$0.002 \leq 4.583 \times 10^{-3} \leq 0.1$$

Условие применимости формул выполняются.

Таким образом, толщина стенки эллиптического днища корпуса составляет 12 мм.

										Лист
										60
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

5.2.2 Поверочный расчет толщины стенки днища при действии внутреннего давления

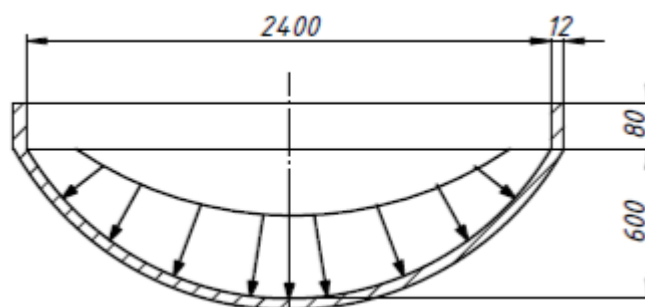


Рисунок 18 - Расчетная схема эллиптического днища при действии внутреннего давления

Проверка условия прочности в рабочих условиях [36]:

$$P_{v.r} \leq P_d \quad (5.2.11)$$

где P_d - допускаемое значение внутреннего давления для эллиптического днища, МПа.

А также проверка условия прочности в условиях испытаний [36]:

$$P_{v.r} \leq P_{di} \quad (5.2.12)$$

где P_{di} - допускаемое значение внутреннего давления для эллиптического днища в условиях испытаний, МПа.

Для рабочих условий проведем расчет.

Расчетная толщина стенки:

$$s_{k.k.r} := \frac{P_{v.r} \cdot R}{2 \cdot \phi_r \cdot \sigma_{d.k} - 0.5 \cdot P_{v.r}} \quad (5.2.13)$$

$$s_{k.k.r} := \frac{0.238 \cdot 2.4}{2 \cdot 0.9 \cdot 165 - 0.5 \cdot 0.238} = 1.924 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_{k.k} \geq s_{k.k.r} + c \quad (5.2.14)$$

$$s_{k.k} \geq 1.924 \times 10^{-3} + 1$$

$$s_{k.k} \geq 2.924 \times 10^{-3}$$

Так как условие устойчивости выполняется при 12 мм, а условие прочности при 3 мм, то принимаем наибольшее значение - 12 мм.

Допускаемое избыточное давление:

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

$$P_d := \frac{2 \cdot \sigma_{d.k} \cdot \phi_r \cdot (s_{k.k} - c)}{R + 0.5 \cdot (s_{k.k} - c)} \quad (5.2.15)$$

$$P_d := \frac{2 \cdot 165 \cdot 0.9 \cdot (12 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})}{2.4 + 0.5 \cdot (12 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})} = 1.358 \text{ МПа}$$

Тогда условие прочности (5.2.11):

$$0.238 \leq 1.358$$

Условие выполняется, следовательно, толщина стенки днища 12 мм обеспечивает надежность эллиптического днища корпуса в рабочих условиях.

Аналогично проводится расчет для условий испытаний, но с допускаемым напряжением стали $\sigma_{ik} = 230$.

Также принимаем толщину стенки, равную 12 мм.

В итоге условие прочности (5.2.12):

$$0.238 \leq 1.893$$

Условие выполняется, следовательно, толщина стенки обечайки 12 мм обеспечивает надежность цилиндрической обечайки корпуса и в условиях испытаний.

5.3 Расчёт толщины стенки эллиптической крышки корпуса аппарата

Расчетная схема крышки представлена на рисунке 19, номер позиции на расчетной схеме аппарата - 3. Расчет производится по ГОСТ 34233.2-2017 [36].

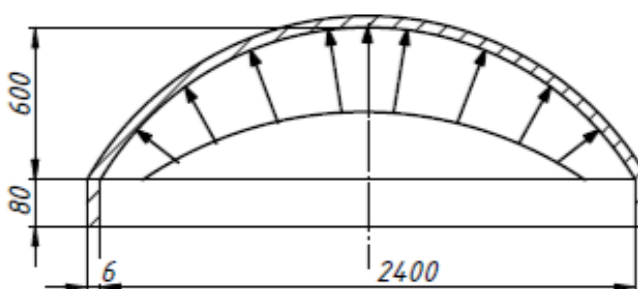


Рисунок 19 - Расчетная схема эллиптической крышки корпуса

Исходные данные для расчета:

- расчетное наружное давление в аппарате, МПа, $P_{v.r} = 0,238$ (пункт 5.1);
- Радиус кривизны в вершине днища, м $R = D = 2,4$;

- внутренний диаметр аппарата, м, $D = 2,4$;
- допускаемое напряжение для стали 08X18H10T в рабочих условиях, МПа, $\sigma_{d.k} = 165$ (таблица 7);
- допускаемое напряжение для стали 08X18H10T в условиях испытаний, МПа, $\sigma_{ik} = 230$ (таблица 7);
- модуль нормальной упругости для стали 08X18H10T при рабочей температуре $E_k = 196 \cdot 10^3$ (таблица 7);
- общее значение прибавки, с = 1 мм (пункт 4.2);
- коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий, $n_y = 2,4$ [35];
- коэффициент запаса устойчивости для условий испытаний, $n_y = 1,8$ [35];
- коэффициент прочности сварных швов [32] $\phi_r = 0,9$.

Цель расчета - нахождение толщины стенки, при которой обеспечивается прочность аппарата. Условием расчета - проверка условия прочности в рабочих условиях [36]:

$$P_{v.r} \leq P_d, \quad (5.3.1)$$

где P_d - допускаемое значение давления для эллиптического днища, МПа;

А также проверка условие прочности в условиях испытаний [36]:

$$P_{v.r} \leq P_{di} \quad (5.3.2)$$

где P_{di} - допускаемое значение давления для эллиптического днища в условиях испытаний, МПа;

Для рабочих условий проведем расчет.

Расчетная толщина стенки:

$$s_{k.k.r} := \frac{P_{v.r} \cdot R}{2 \cdot \phi_r \cdot \sigma_{d.k} - 0.5 \cdot P_{v.r}} \quad (5.3.3)$$

$$s_{k.k.r} := \frac{0.238 \cdot 2.4}{2 \cdot 0.9 \cdot 165 - 0.5 \cdot 0.238} = 1.924 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_{k.k} \geq s_{k.k.r} + c \quad (5.3.4)$$

$$s_{k.k} \geq 1.924 \times 10^{-3} + 1$$

$$s_{k.k} \geq 2.924 \times 10^{-3}$$

Принимаем толщину стенки, равную 6 мм.

Допускаемое избыточное давление:

$$P_d := \frac{2 \cdot \sigma_{d.k} \cdot \phi_r \cdot (s_{k.k} - c)}{R + 0.5 \cdot (s_{k.k} - c)} \quad (5.3.5)$$

$$P_d := \frac{2 \cdot 165 \cdot 0.9 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})}{2.4 + 0.5 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})} = 0.618 \text{ МПа.}$$

Проверка условия прочности (5.3.1):

$$0.238 \leq 0.618$$

Условие выполняется, следовательно, толщина стенки корпуса 6 мм обеспечивает надежность эллиптической крышки корпуса в рабочих условиях.

Аналогично проводится расчет для условий испытаний, с допускаемым напряжением стали $\sigma_{ik} = 230$.

В итоге условие прочности (5.3.2):

$$0.238 \leq 0.862$$

Условие выполняется, следовательно, толщина стенки крышки 6 мм обеспечивает надежность эллиптической крышки корпуса и в условиях испытаний.

Проверка применимости формул из стандарта к рассчитываемой крышке:

$$0.002 \leq \frac{s_{k.dn} - c}{D} \leq 0.1, \quad (5.3.6)$$

$$0.002 \leq \frac{6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}}{2.4} \leq 0.1,$$

$$0.002 \leq 2.083 \times 10^{-3} \leq 0.1$$

Условие применимости формул выполняются.

Таким образом, толщина стенки эллиптической крышки корпуса составляет 6 мм.

5.4 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки рубашки

Расчетная схема обечайки представлена на рисунке 20, номер позиции на расчетной схеме аппарата - 4. Расчет производится по ГОСТ 34233.2-2017 [36].

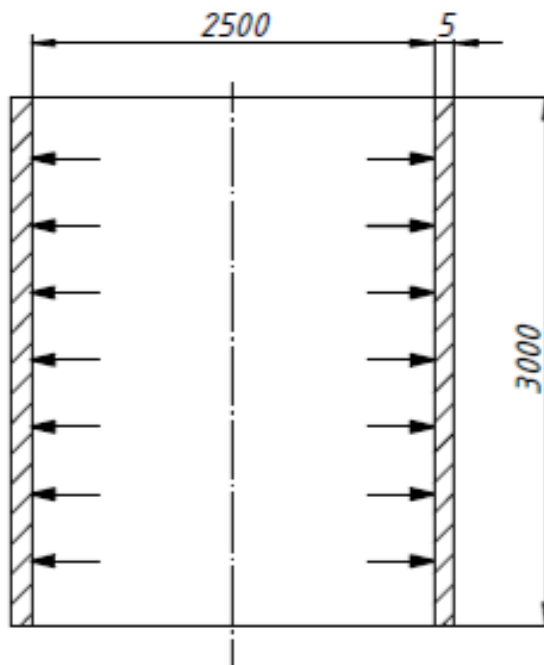


Рисунок 20 - Расчетная схема обечайки рубашки

Исходные данные для расчета:

- внутреннее рабочее давление в аппарате, МПа, $P_{v.r}=0,329$;
- ускорение свободного падения, $\frac{m}{c^2}$, $g = 9,8$;
- внутренний диаметр аппарата, м, $D = 2,4$;
- высота цилиндрической части, м, $H=4$;
- диаметр рубашки внутренний, м, $D_{rub}=2,5$;
- высота обечайки рубашки, м, $H_{rub}= 3$;
- допускаемое напряжение для стали Ст3 в рабочих условиях, МПа, $\sigma_{d.r}= 152,7$ (таблица 7);
- допускаемое напряжение для стали Ст3 в условиях испытаний, МПа, $\sigma_{ir}= 228$ (таблица 7);
- общее значение прибавки, $c = 1$ мм (пункт 4.2);

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

65

- коэффициент прочности сварных швов [32] $\phi_r = 0,9$.

Цель расчета - нахождение толщины стенки, при которой обеспечивается прочность аппарата. Условием расчета - проверка условия прочности в рабочих условиях [36]:

$$P_{v,r} \leq P_d, \quad (5.3.1)$$

где P_d - допускаемое значение внутреннего давления рубашки, МПа;

А также проверка условие прочности в условиях испытаний [36]:

$$P_{v,r} \leq P_{di} \quad (5.3.2)$$

где P_{di} - допускаемое значение давления для обечайки в условиях испытаний, МПа;

Расчетная толщина стенки:

$$s_{r,r} := P_{v,r} \cdot \frac{D_{rub}}{2 \cdot \phi_r \cdot \sigma_{d,r} - P_{v,r}} \quad (5.4.3)$$

$$s_{r,r} := 0.3291648 \cdot \frac{2.5}{2 \cdot 0.9 \cdot 152.7 - 0.3291648} = 2.998 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_r \geq s_{r,r} + c \quad (5.4.3)$$

$$s_r \geq 2.998 \times 10^{-3} + 1$$

$$s_r \geq 3.998 \times 10^{-3}$$

По ГОСТ 19903-2015 [33] подбираем соответствующее значение проката - 5 мм.

Коэффициент проверки необходимости ребер жесткости:

$$K_4 := \frac{P_{v,r} \cdot (D_{rub} + s_r - c)}{2 \cdot \phi_r \cdot \sigma_{d,r} \cdot (s_r - c)} - 1 \quad (5.4.4)$$

$$K_4 := \frac{0.329 \cdot (2.5 + 5 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})}{2 \cdot 0.9 \cdot 152.7 \cdot (5 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})} - 1 = -0.251$$

Так как коэффициент меньше 0, то ребра жесткости не требуются.

Рабочие условия:

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

$$P_{d, \text{max}} := \frac{[2 \cdot \sigma_{d,r} \cdot \phi_r \cdot (s_r - c)]}{D_{\text{rub}} + (s_r - c)} \quad (5.4.5)$$

$$P_d := \frac{2 \cdot 152.7 \cdot 0.9 \cdot (5 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})}{2.5 + (5 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})} = 0.439 \text{ МПа}$$

Проверка условия устойчивости (5.4.1):

$$0.329 \leq 0.439$$

Условие выполняется, следовательно, толщина стенки рубашки 5 мм обеспечивает надежность эллиптической крышки корпуса в рабочих условиях.

Аналогично проводится расчет для условий испытаний, но с допускаемым напряжением стали $\sigma_{ir} = 228$.

В итоге условие устойчивости (5.4.2):

$$0.329 \leq 0.656$$

Условие выполняется, следовательно, толщина стенки 6 мм обеспечивает надежность обечайки рубашки и в условиях испытаний.

Проверка применимости формул из стандарта к рассчитываемой обечайке:

$$\frac{s_r - c}{D_{\text{rub}}} \leq 0.1 \quad (5.4.6)$$

$$\frac{5 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}}{2.5} \leq 0.1$$

$$1.6 \times 10^{-3} \leq 0.1$$

Таким образом, толщина стенки обечайки рубашки составляет 6 мм.

5.5 Расчет толщины стенки эллиптического днища рубашки

Расчетная схема эллиптического днища представлена на рисунке 21, номер позиции на расчетной схеме аппарата - 1. Расчет производится по ГОСТ 34233.2-2017 [36].

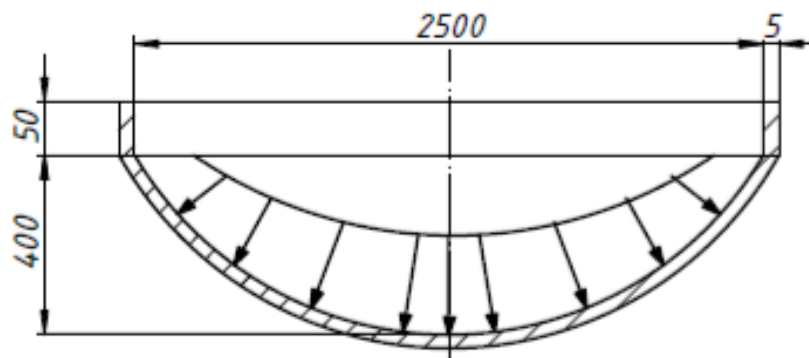


Рисунок 21 - Расчетная схема эллиптического днища рубашки

Исходные данные для расчета:

- внутреннее рабочее давление в аппарате, МПа, $P_{v.r}=0,238$;
- диаметр рубашки внутренний, м, $D_{rub}=2,5$;
- высота обечайки рубашки, м, $H_{rub}= 3$;
- допускаемое напряжение для стали Ст3 в рабочих условиях, МПа, $\sigma_{d.r}= 152,7$ (таблица 7);
- допускаемое напряжение для стали Ст3 в условиях испытаний, МПа, $\sigma_{ir}= 228$ (таблица 7);
- общее значение прибавки, с = 1 мм (пункт 4.2);
- коэффициент прочности сварных швов [32] $\phi_r = 0,9$.

Цель расчета - нахождение толщины стенки, при которой обеспечивается прочность аппарата. Условием расчета - проверка условия прочности в рабочих условиях [36]:

$$P_{v.r} \leq P_d, \quad (5.5.1)$$

где P_d - допускаемое внутреннее значение давления для эллиптического днища, МПа.

А также проверка условие прочности в условиях испытаний [36]:

$$P_{v.r} \leq P_{di} \quad (5.5.2)$$

где P_{di} - допускаемое внутреннее значение давления для эллиптического днища в условиях испытаний, МПа.

Для рабочих условий проведем расчет.

Расчетная толщина стенки днища эллиптического:

$$s_{1p} := \frac{P_{v,r} \cdot R}{2 \cdot \sigma_{d,r} \cdot \phi - 0.5 \cdot P_{v,r}} \quad (5.5.3)$$

$$s_{1p} := \frac{0.329 \cdot 2.5}{2 \cdot 152.7 - 0.5 \cdot 0.329} = 2.695 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Исполнительная толщина стенки:

$$s_{r,dn} \leq s_{1p} + c \quad (5.5.4)$$

$$s_{r,dn} \leq 2.695 \times 10^{-3} + 1$$

$$s_{r,dn} \leq 3.695 \times 10^{-3}$$

По ГОСТ 19903-2015 [6] подбираем соответствующее значение проката - 5 мм.

Допускаемое давление:

$$P_d := \frac{2 \cdot \sigma_{d,r} \cdot \phi_r \cdot (s_{r,dn} - c)}{R + 0.5 \cdot (s_{r,dn} - c)} \quad (5.5.5)$$

$$P_d := \frac{2 \cdot 152.7 \cdot 0.9 \cdot (5 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})}{2.5 + 0.5 \cdot (5 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})} = 0.439 \text{ МПа.}$$

Проверка условия прочности (5.5.1):

$$0.329 \leq 0.439$$

Условие выполняется, следовательно, толщина стенки корпуса 5 мм обеспечивает надежность эллиптической крышки корпуса в рабочих условиях.

Аналогично проводится расчет для условий испытаний допускаемым напряжением стали $\sigma_{ir} = 228$.

В итоге условие прочности (5.4.2):

$$0.329 \leq 0.656$$

Условие выполняется, следовательно, толщина стенки крышки 5 мм обеспечивает надежность эллиптической крышки корпуса и в условиях испытаний.

5.6 Расчет фланцевого соединения корпуса с крышкой

Расчетная схема фланца представлена на рисунке 22, номер позиции на расчетной схеме аппарата - 6. Расчет производится по ГОСТ 34233.4-2017 [39].

Принимаем плоский приврной фланец, рекомендованный при температуре до 300 °С и давления до 1,6 МПа

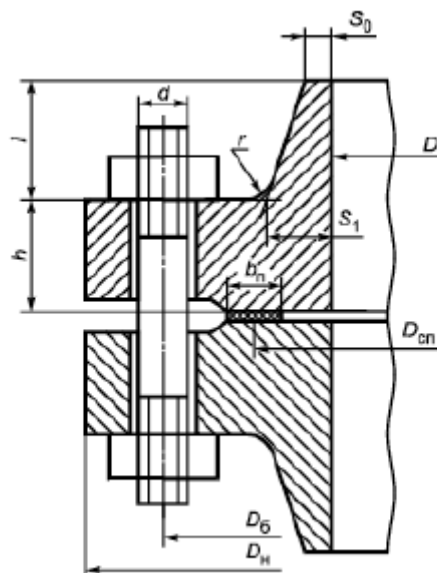


Рисунок 22 - Расчетная схема плоского приварного фланца

Исходные данные для расчета:

- диаметр аппарата внутренний, мм, $D=2400$;
- допускаемое напряжение для стали 30ХМА в рабочих условиях, МПа, $\sigma_{d.ph}=305$, $\sigma_{d.b}=305$ (таблица 7);
- допускаемое напряжение для стали 30ХМА в условиях испытаний, МПа, $\sigma_{i.ph}=537$, $\sigma_{i.b}=537$ (таблица 7);
- модуль нормальной упругости для стали 30ХМА при рабочей температуре, МПа $E_{ph}=208 \cdot 10^3$, $E_b=208 \cdot 10^3$ (таблица 7);
- модуль нормальной упругости для стали 30ХМА при температуре испытаний, МПа $E_{iph}=208 \cdot 10^3$, $E_{ib}=208 \cdot 10^3$ (таблица 7);
- коэффициент линейного расширения стали 30ХМА, $^{\circ}\text{C}^{-1}$
 $\alpha_{ph}=11,6 \cdot 10^{-6}$, $\alpha_b=11,6 \cdot 10^{-6}$ (таблица 7);

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

70

- рабочая температура в аппарате, °C $t_r = 40$.
- высота прокладки, мм, $h_p = 3$ мм (таблица 8);
- внутренний диаметр прокладки, мм, $D_2 = 2413$ (таблица 8);
- внешний диаметр прокладки, мм, $D_{pr} = 2444$ (таблица 8);
- рабочая температура фланца, °C $t_{ph} = 38,4$;
- рабочая температура болтов $t_b = 38$ °C.

Цель расчета - проверка прочности фланцевого соединения. Условием прочности соединения являются условие прочности прокладки, условие статической прочности при затяжке и в рабочих условиях, условие поворота плоского фланца в условиях испытаний и рабочих условиях, условие прочности болтов при затяжке и в рабочих условиях.

При этом условие прочности болтов при затяжке:

$$\sigma_{b1} \leq \sigma_{ib} \quad (5.6.1)$$

где σ_{b1} - расчетное напряжение в болтах при затяжке, МПа.

При этом условие прочности болтов в рабочих условиях:

$$\sigma_{b2} \leq \sigma_{d.b} \quad (5.6.2)$$

где σ_{b2} - расчетное напряжение в болтах в рабочих условиях, МПа.

Условие прочности прокладки:

$$q \leq q_d \quad (5.6.3)$$

где q - удельное давление на прокладку, МПа;

$q_d = 130$ МПа - допускаемое удельное давление по таблице И1 [40].

Условие статической прочности при затяжке:

$$\sigma_{Zmax} < K_T \cdot 1.5 \sigma_{i.ph} \quad (5.6.4)$$

где σ_{Zmax} - расчетное напряжение при затяжке, МПа;

$K_T = 1.3$ - коэффициент, учитывающий стесненность температурных деформаций.

Условие статической прочности в рабочих условиях:

$$\sigma_{Pmax} < K_T \cdot 3 \sigma_{d.ph} \quad (5.6.5)$$

где σ_{Pmax} - расчетное напряжение в рабочих условиях, МПа;

Условие угла поворота фланца в условиях испытаний:

$$\Theta \leq 1.3 \cdot \Theta_d \quad (5.6.6)$$

где Θ - угол поворота фланца, рад;

Θ_d - допустимый угол поворота фланца, рад.

Условие угла поворота фланца в рабочих условиях:

$$\Theta \leq \Theta_d \quad (5.6.7)$$

5.6.1 Определение болтовой нагрузки

Ширина прокладки:

$$b_p := \frac{D_{np} - D_2}{2} \quad (5.6.8)$$

$$b_p := \frac{2444 - 2413}{2} = 15.5 \text{ мм.}$$

Эффективная ширина прокладки:

$$b_0 := \text{Ceil}(3.8 \cdot \sqrt{b_p}, 1) \quad (5.6.9)$$

$$b_0 := \text{Ceil}(3.8 \cdot \sqrt{15.5}, 1) = 15 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр прокладки:

$$D_{sp} := D_{np} - b_0 \quad (5.6.10)$$

$$D_{sp} := 2444 - 15 = 2.429 \times 10^3 \text{ мм}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{ob} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{sp} \cdot b_0 \cdot q_{ob} \quad (5.6.11)$$

где $q_{ob} = 20$ МПа удельное давление обжатия прокладки по таблице И1 [40] для паронита.

$$P_{ob} := 0.5 \cdot \pi \cdot (2444 - 15) \cdot 15 \cdot 20 = 1.145 \times 10^6 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения.

$$R_p := \pi \cdot D_{sp} \cdot b_0 \cdot m \cdot P \quad (5.6.12)$$

где $m = 2,5$ - прокладочный коэффициент по таблице И1 [40] для паронита.

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

$$R_p := \pi \cdot 2429 \cdot 15 \cdot 2.5 \cdot 0.238 = 6.811 \times 10^4 \text{ Н}$$

Для болта М30 (диаметр резьбы по ГОСТ 28759.2-90 [41]) площадь поперечного сечения по таблице Д1 [40] $f_b := 520 \text{ мм}^2$.

Количество болтов принимаем [41] $n := 88$.

Суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы:

$$A_b := n \cdot f_b \quad (5.6.13)$$

$$A_b := 88 \cdot 520 = 4.576 \times 10^4 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$y_p := \frac{h_p \cdot K_{ob}}{E_p \cdot \pi \cdot D_{sp} \cdot b_p} \quad (5.6.14)$$

где $K_{ob} = 0,9$ - коэффициент обжатия прокладки по таблице И1 [40];

$E_p = 0,02 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ - условный модуль сжатия прокладки по таблице И1 [40].

$$y_p := \frac{3 \cdot 0.9}{0.02 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot 2429 \cdot 15.5} = 1.141 \times 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Эффективная длина болта при определении податливости:

$$L_b := L_{b0} + 0.28 \cdot d_{ph}, \quad (5.6.15)$$

где $d_{ph} = 30 \text{ мм}$ - наружный диаметр болта.

$$L_{b0} := 2b_{ph}, \quad (5.6.16)$$

где $b_{ph} = 130 \text{ мм}$ - высота фланца.

Тогда:

$$L_{b0} := 2 \cdot 130 = 260 \text{ мм}$$

$$L_b := 260 + 0.28 \cdot 30 = 268.4 \text{ мм}$$

Податливость болтов:

$$y_b := \frac{L_b}{E_{ib} \cdot A_b}, \quad (5.6.17)$$

$$y_b := \frac{268.4}{208 \cdot 10^3 \cdot 4.576 \cdot 10^4} = 2.82 \times 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

Расчетные параметры фланцев:

- параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot s_0} \quad (5.6.18)$$

где $s_0 = 20$ мм - меньшая толщина цилиндрической втулки фланца [41].

$$l_0 := \sqrt{2400 \cdot 20} = 219.089 \text{ мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_n}{D}, \quad (5.6.19)$$

где $D_n = 2610$ мм - наружный диаметр тарелки фланца [40].

$$K := \frac{2610}{2400} = 1.087$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)}, \quad (5.6.20)$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad (5.6.21)$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad (5.6.22)$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad (5.6.23)$$

$$\beta_T := \frac{1.087^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(1.087)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot 1.087^2) \cdot (1.087 - 1)} = 1.88$$

$$\beta_U := \frac{1.087^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(1.087)) - 1}{1.36 \cdot (1.087^2 - 1) \cdot (1.087 - 1)} = 25.488$$

$$\beta_Y := \frac{1}{1.087 - 1} \cdot \left(0.69 + 5.72 \cdot \frac{1.087^2 \cdot \log(1.087)}{1.087^2 - 1} \right) = 23.432$$

$$\beta_Z := \frac{1.087^2 + 1}{1.087^2 - 1} = 12.015$$

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

Коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами с прямой втулкой, плоскими фланцами [40] $\beta_F := 0.91$, $\beta_V := 0.55$.

Поправочный коэффициент для напряжений во втулке фланца $f := 1$.

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot b_{ph} + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot b_{ph}^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (s_0)^2}, \quad (5.6.24)$$

$$\lambda := \frac{0.91 \cdot 130 + 219.089}{1.88 \cdot 219.089} + \frac{0.55 \cdot 130^3}{25.488 \cdot 219.089 \cdot 20^2} = 1.36$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{ph} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{iph} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (s_0)^2}, \quad (5.6.25)$$

$$y_{ph} := \frac{0.91 \cdot 0.55}{208000 \cdot 1.36 \cdot 219.089 \cdot 20^2} = 2.019 \times 10^{-11} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{phn} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_b}{E_{iph} \cdot b_{ph}^3 \cdot D_n}, \quad (5.6.26)$$

где $D_b = 2550$ мм - диаметр окружности расположения болтов [41].

$$y_{phn} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{2550}{208000 \cdot 130^3 \cdot 2610} = 1.036 \times 10^{-12} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами:

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot \frac{D_b}{n}}{n \cdot \left(2 \cdot d_{ph} + \frac{6 \cdot b_{ph}}{m + 0.5} \right)}} \right], \quad (5.6.27)$$

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot \frac{2550}{88}}{88 \cdot \left(2 \cdot 30 + \frac{6 \cdot 130}{2.5 + 0.5} \right)}} \right] = 1$$

Плечо действия усилий в болтах:

$$b := 0.5(D_b - D_{sp}), \quad (5.6.28)$$

$$b := 0.5 \cdot (2550 - 2429) = 60.5 \text{ мм}$$

Плечо усилия от действия давления на фланец:

$$e := 0.5 \cdot (D_{sp} - D - s_0), \quad (5.6.29)$$

$$e := 0.5 \cdot (2429 - 2400 - 20) = 4.5$$

Эквивалентную толщину плоских фланцев принимаем $S_a := s_0$.

Жесткость фланцевого соединения:

$$\gamma := \frac{1}{y_p + y_b \cdot \frac{E_{ib}}{E_b} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{ph} \cdot \frac{E_{iph}}{E_{ph}}}, \quad (5.6.30)$$

$$\gamma := \frac{1}{1.141 \cdot 10^{-8} + 2.82 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{208 \cdot 10^3}{208 \cdot 10^3} + 2 \cdot 60.5^2 \cdot 2.019 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{208000}{208000}} = 5.336 \times 10^6$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha := 1 - \frac{y_p - 2 \cdot e \cdot y_{ph} \cdot b}{y_p + y_b + 2 \cdot b^2 \cdot y_{ph}}, \quad (5.6.31)$$

$$\alpha := 1 - \frac{1.141 \cdot 10^{-8} - 2 \cdot 4.5 \cdot 2.019 \cdot 10^{-11} \cdot 60.5}{1.141 \cdot 10^{-8} + 2.82 \cdot 10^{-8} + 2 \cdot 60.5^2 \cdot 2.019 \cdot 10^{-11}} = 0.998$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_b + 2 \cdot y_{phn} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{sp}} \right)}{y_b + y_p \cdot \left(\frac{D_b}{D_{sp}} \right)^2 + 2 \cdot y_{phn} \cdot b^2}, \quad (5.6.32)$$

$$\alpha_M := \frac{2.82 \cdot 10^{-8} + 2 \cdot 1.036 \cdot 10^{-12} \cdot 60.5 \cdot \left(60.5 + 4.5 - \frac{4.5^2}{2429} \right)}{2.82 \cdot 10^{-8} + 1.141 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\frac{2550}{2429} \right)^2 + 2 \cdot 1.036 \cdot 10^{-12} \cdot 60.5^2} = 0.752$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций:

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{ph} \cdot b_{ph} \cdot (t_{ph} - 20) - 2\alpha_b \cdot b_{ph} \cdot (t_b - 20)], \quad (5.6.33)$$

$$Q_t := 5.336 \cdot 10^6 \cdot [2 \cdot 1.66 \cdot 10^{-5} \cdot 130 \cdot (38.4 - 20) - 2 \cdot 11.6 \cdot 10^{-6} \cdot 130 \cdot (38 - 20)] = 1.341 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения:

$$P_{b1} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_p + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{sp}} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_p + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{sp}} - Q_t \end{array} \right], \quad (5.6.34)$$

$$P_{b1} := \max \left[\begin{array}{l} 0.998 \cdot (1.102 \cdot 10^6 + 1.489 \cdot 10^{-6}) + 6.811 \cdot 10^4 + \frac{4 \cdot 0.7516077975085593219 \cdot |0|}{2429} \\ 0.998 \cdot (1.102 \cdot 10^6 + 1.489 \cdot 10^{-6}) + 6.811 \cdot 10^4 + \frac{4 \cdot 0.7516077975085593219 \cdot |0|}{2429} - 1.341 \cdot 10^5 \end{array} \right] = 1.168 \times 10^6$$

Расчетная нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:

$$P_{b2} := \max(P_{ob}, 0.4 \cdot A_b \cdot \sigma_{ib}), \quad (5.6.35)$$

$$P_{b2} := \max(1.145 \cdot 10^6, 0.4 \cdot 88 \cdot 520 \cdot 537) = 9.829 \times 10^6 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{bm} := \max(P_{b1}, P_{b2}), \quad (5.6.36)$$

$$P_{bm} := \max(1.168 \cdot 10^6, 9.829 \cdot 10^6) = 9.829 \times 10^6 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты фланцевых соединений в рабочих условиях:

$$P_{br} := P_{bm} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{sp}}, \quad (5.6.37)$$

$$P_{br} := 9.829 \cdot 10^6 + (1 - 0.998) \cdot (1.102 \cdot 10^6 + 1.489 \cdot 10^{-6}) + 1.341 \cdot 10^5 + \frac{4 \cdot (1 - 0.751) \cdot |0|}{2429} = 9.965 \times 10^6$$

5.6.2 Проверка прочности болтов и прокладки

Расчетные напряжения в болтах:

- при затяжке:

$$\sigma_{b1} := \frac{P_{bm}}{A_b}, \quad (5.6.38)$$

$$\sigma_{b1} := \frac{9.829 \cdot 10^6}{88 \cdot 520} = 214.795 \text{ МПа}$$

- в рабочих условиях:

$$\sigma_{b2} := \frac{P_{br}}{A_b}, \quad (5.6.39)$$

$$\sigma_{b2} := \frac{9.965 \cdot 10^6}{88 \cdot 520} = 217.767 \text{ МПа}$$

Условие прочности болтов при затяжке (5.8.1) и в рабочих условиях (5.8.2)

$$214.795 \leq 537$$

$$217.767 \leq 305$$

Следовательно, условие прочности болтов выполняется.

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{bm}, P_{br})}{\pi \cdot D_{sp} \cdot b_p}, \quad (5.6.40)$$

$$q := \frac{\max(9.829 \cdot 10^6, 9.965 \cdot 10^6)}{\pi \cdot 2429 \cdot 15.5} = 84.25 \text{ МПа}$$

Тогда условие прочности прокладки (5.8.3):

$$84.25 \leq 130$$

Условие прочности прокладки выполняется.

5.6.3 Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланца или плоский фланец при затяжке:

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

$$M_m := C_F \cdot P_{bm} \cdot b, \quad (5.6.41)$$

$$M_m := 9.829 \cdot 10^6 \cdot 60.5 = 5.947 \times 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_T := C_F \cdot \max[P_{br} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e], \quad (5.6.42)$$

$$M_T := \max[9.965 \cdot 10^6 \cdot 60.5 + (1.102 \cdot 10^6 + 0) \cdot 4.5, |1.102 \cdot 10^6 + 0| \cdot 4.5] = 6.078 \times 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке:

$$\sigma_{0m} := \frac{M_m}{\lambda \cdot (s_0)^2 \cdot D_{pr}}, \quad (5.6.43)$$

где $D_{pr} := D$ - приведенный диаметр.

$$\sigma_{0m} := \frac{5.947 \cdot 10^8}{1.36 \cdot 20^2 \cdot 2400} = 455.499 \text{ МПа}$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки:

- радиальное напряжение:

$$\sigma_{Rm} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot b_{ph} + l_0}{\lambda \cdot b_{ph}^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_m, \quad (5.6.44)$$

$$\sigma_{Rm} := \frac{1.33 \cdot 0.91 \cdot 130 + 219.089}{1.36 \cdot 130^2 \cdot 219.089 \cdot 2400} \cdot 5.947 \cdot 10^8 = 18.523 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение:

$$\sigma_{Tm} := \frac{\beta_Y \cdot M_m}{b_{ph}^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rm}, \quad (5.6.45)$$

$$\sigma_{Tm} := \frac{23.432 \cdot 5.947 \cdot 10^8}{130^2 \cdot 2400} - 12.015 \cdot 18.523 = 121.012 \text{ МПа}$$

Меридиональные изгибные напряжения:

$$\sigma_{0r} := \frac{M_r}{\lambda \cdot (s_0)^2 \cdot D_{pr}}, \quad (5.6.46)$$

									Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	79

$$\sigma_{0r} := \frac{6.078 \cdot 10^8}{1.36 \cdot 20^2 \cdot 2400} = 465.533 \text{ MPa}$$

Максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке
плоского фланца

$$\sigma_{0mr} := \max \left[\frac{0.785 \cdot D^2 \cdot P + F + \frac{4 |M|}{D_{sp}}}{\pi \cdot (D + c) \cdot (s_0 - c)}, \frac{0.785 \cdot D^2 \cdot P + F - \frac{4 |M|}{D_{sp}}}{\pi \cdot (D + c) \cdot (s_0 - c)} \right], \quad (5.6.47)$$

$$\sigma_{0\text{mr}} := \max \left[\frac{0.785 \cdot 2400^2 \cdot 0.24 + 1.49 \cdot 10^{-6} + \frac{4 \cdot |0|}{2429}}{\pi \cdot (2400 + 10^{-3}) \cdot (20 - 10^{-3})}, \frac{0.79 \cdot 2400^2 \cdot 0.24 + 1.49 \cdot 10^{-6} - \frac{4 \cdot |0|}{2429}}{\pi \cdot (2400 + 10^{-3}) \cdot (20 - 10^{-3})} \right] = 7.243$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в рабочих условиях:

- радиальное напряжение:

$$\sigma_{\text{Rr}} := \frac{1.33 \cdot \beta_{\text{F}} \cdot b_{\text{ph}} + l_0}{\lambda \cdot b_{\text{ph}}^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_{\text{I}} \quad (5.6.48)$$

$$\sigma_{\text{Rr}} := \frac{1.33 \cdot 0.91 \cdot 130 + 219.089}{1.36 \cdot 130^2 \cdot 219.089 \cdot 2400} \cdot 6.078 \cdot 10^8 = 18.932 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение:

$$\sigma_{\text{Tr}} := \frac{\beta_{\text{Y}} \cdot \text{M}_{\text{r}}}{b_{\text{ph}}^2 \cdot \text{D}} - \beta_{\text{Z}} \cdot \sigma_{\text{Rr}} \quad (5.6.49)$$

$$\sigma_{\text{Tr}} := \frac{23.432 \cdot 6.078 \cdot 10^8}{130^2 \cdot 2400} - 12.015 \cdot 18.932 = 123.665 \text{ МПа}$$

Расчетное напряжение в рабочих условиях:

$$\sigma_{\mathbf{P}\max} := \max \left(\left(\begin{array}{c} \left| \sigma_{0\mathbf{r}} - \sigma_{0\mathbf{mr}} + \sigma_{\mathbf{Tr}} \right| \\ \left| \sigma_{0\mathbf{r}} - \sigma_{0\mathbf{mr}} + \sigma_{\mathbf{Rr}} \right| \\ \left| \sigma_{0\mathbf{r}} + \sigma_{0\mathbf{mr}} \right| \end{array} \right) \right), \quad (5.6.50)$$

$$\sigma_{\mathbf{Pmax}} := \max \left(\begin{pmatrix} |465.533 - 7.137 + 123.665| \\ |465.533 - 7.137 + 18.932| \\ |465.533 + 7.137| \end{pmatrix} \right) = 582.061 \text{ MPa}$$

Расчетное напряжение при затяжке:

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

$$\sigma_{Z_{\max}} := \max(|\sigma_{0m} + \sigma_{Rm}|, |\sigma_{0m} + \sigma_{Tm}|), \quad (5.6.51)$$

$$\sigma_{Z_{\max}} := \max(|455.499 + 18.523|, |455.499 + 121.012|) = 576.511 \text{ МПа}$$

Тогда условие статической прочности при затяжке (5.8.4):

$$576.511 < 1.047 \times 10^3$$

Условие статической прочности выполняется.

Условие статической прочности в рабочих условиях (5.8.5):

$$582.061 < 1190$$

Условие статической прочности при рабочих условиях также выполняется.

5.6.4 Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\Theta := M_T \cdot y_{ph} \cdot \frac{E_b}{E_{ph}}, \quad (5.6.52)$$

$$\Theta := 6.078 \cdot 10^8 \cdot 2.019 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{208 \cdot 10^3}{208000} = 0.012 \text{ рад}$$

Тогда условие угла поворота фланца в условиях испытаний (5.8.6):

$$0.012 \leq 0.017$$

Условие выполняется.

Условие угла поворота фланца в рабочих условиях:

$$0.012 \leq 0.013$$

Условие в рабочих условиях также выполняется.

Таким образом, все необходимые условия выполняются, следовательно, принятые фланцы обеспечивают надежность аппарата.

5.7 Расчет необходимости укрепления отверстий

Расчетная схема сопряжения представлена на рисунке 23. Расчет производится по ГОСТ 34233.3-2017 [38].

Исходные данные для расчета:

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

- диаметр аппарата внутренний, мм, $D=2400$;
- диаметр штуцера ввода эмульсии, м, $d_{sh1}=0.059$;
- диаметр штуцера вывода полимера, м, $d_{sh6}=0.039$;
- диаметр штуцера ввода воды в рубашку, м, $d_{sh7}=0.033$;
- диаметр штуцера вывода воды из рубашки, м, $d_{sh8}=0.033$;
- диаметр люка-лаза, м, $d_l = 0.5$

Цель расчета - проверка необходимости укрепления отверстий.
Условием прочности соединения являются условие прочности прокладки, условие:

$$d_0 \geq d_r \quad (5.7.1)$$

где d_0 , м - расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления;

d_r , м - расчетный диаметр отверстия.

Проведем расчёт для наибольшего диаметра штуцера на крышке корпуса аппарата.

5.7.1 Штуцер ввода веществ в крышку (штуцер А-Д)

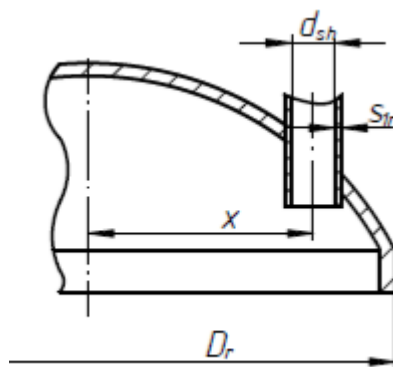


Рисунок 23 - Схема к расчету укрепления отверстий на эллиптической крышке

Расчётный диаметр оболочки:

$$D_r := 2D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{x}{D}\right)^2} \quad (5.7.2)$$

$$D_r := 2 \cdot 2.4 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{0.4}{2.4}\right)^2} = 4.596 \text{ м}$$

Расчетный диаметр отверстия:

$$d_r := d_{sh1} + 2 \cdot c \quad (5.7.3)$$

$$d_r := 0.059 + 2 \cdot 10^{-3} = 0.061 \text{ м}$$

Расчётная толщина стенки штуцера с круглым поперечным сечением:

$$s_{1r} := \frac{P_k \cdot D_r}{4 \cdot \sigma_{d.k} \cdot \phi_r - P_k} \quad (5.7.4)$$

$$s_{1r} := \frac{0.238 \cdot 4.596}{4 \cdot 165 \cdot 0.9 - 0.238} = 1.842 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки по формуле:

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s_{k.k} - c}{s_{1r}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_r \cdot (s_{k.k} - c)} \quad (5.7.5)$$

$$d_0 := 2 \cdot \left(\frac{6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}}{1.842 \cdot 10^{-3}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{4.596 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})} = 0.58 \text{ м}$$

Проверка укрепление отверстий (5.7.1):

$$0.58 \geq 0.061$$

Следовательно, укрепление отверстий не требуется.

Проверка условий применения формул для расчёта укрепления отверстий:

$$\frac{(d_r - 2 \cdot c)}{D} \leq 0.6 \quad (5.7.6)$$

$$\frac{(s_{k.k} - c)}{D} \leq 0.1 \quad (5.7.7)$$

$$\frac{0.061 - 2 \cdot 10^{-3}}{2.4} \leq 0.6$$

$$\frac{6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}}{2.4} \leq 0.1$$

Следовательно, формулы стандарта применимы.

5.7.2 Штуцер вывода продукта (штуцер Е)

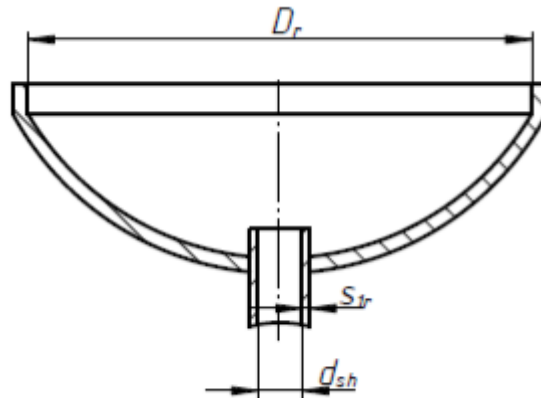


Рисунок 24 - Схема к расчету укрепления отверстий на эллиптическом днище

Расчётный диаметр оболочки:

$$D_r := 2D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{x}{D} \right)^2} \quad (5.7.8)$$

$$D_r := 2 \cdot 2.4 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{0}{2.4} \right)^2} = 4.8 \text{ м}$$

Расчетный диаметр отверстия:

$$d_r := d_{sh6} + 2 \cdot c \quad (5.7.9)$$

$$d_r := 0.039 + 2 \cdot 10^{-3} = 0.041 \text{ м}$$

Расчётная толщина стенки штуцера с круглым поперечным сечением:

$$s_{1r} := \frac{P_{v,r} \cdot D_r}{4 \cdot \sigma_{d,k} \cdot \phi_r - P_{v,r}} \quad (5.7.10)$$

$$s_{1r} := \frac{0.238 \cdot 4.8}{4 \cdot 165 \cdot 0.9 - 0.238} = 1.924 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки по формуле:

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s_{k.dn} - c}{s_{1r}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_r \cdot (s_{k.dn} - c)} \quad (5.7.10)$$

$$d_0 := 2 \cdot \left(\frac{12 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}}{1.924 \cdot 10^{-3}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{4.8 \cdot (12 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})} = 2.26 \text{ м}$$

Проверка укрепление отверстий (5.9.1):

$$2.26 \geq 0.041$$

Следовательно, укрепление отверстий не требуется.

Проверка условий применения формул для расчёта укрепления отверстий (5.9.6, 5.9.7):

$$\frac{0.061 - 2 \cdot 10^{-3}}{2.4} \leq 0.6$$

$$\frac{12 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}}{2.4} \leq 0.1$$

Следовательно, формулы стандарта применимы.

5.7.3 Штуцер ввода воды в рубашку (штуцер Ж)

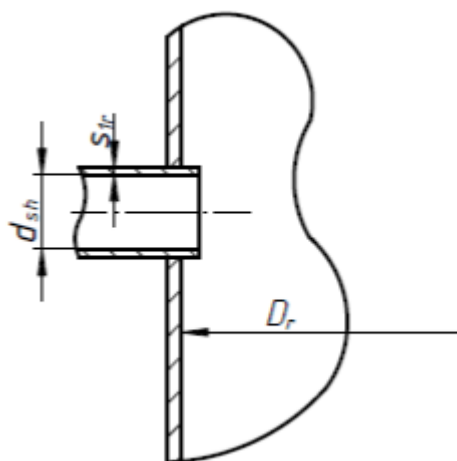


Рисунок 25 - Схема к расчету укрепления отверстий на цилиндрической обечайке рубашки

Расчётный диаметр оболочки:

$$D_r := D_{rub} \quad (5.7.8)$$

Расчётная толщина стенки штуцера с круглым поперечным сечением:

$$s_{1r} := \frac{P_{v,r} \cdot D_r}{4 \cdot \sigma_{d,k} \cdot \phi_r - P_{v,r}} \quad (5.7.9)$$

$$s_{1r} := \frac{0.238 \cdot 4.8}{4 \cdot 165 \cdot 0.9 - 0.238} = 1.924 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки по формуле:

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s_r - c}{s_{1r}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_r \cdot (s_r - c)} \quad (5.7.10)$$

$$d_0 := 2 \cdot \left(\frac{4 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}}{1.498 \cdot 10^{-3}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{2.5 \cdot (4 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})} = 0.208 \text{ м}$$

Проверка укрепление отверстий (5.7.1):

$$0.208 \geq 0.035$$

Следовательно, укрепление отверстий не требуется.

Проверка условий применения формул для расчёта укрепления отверстий (5.7.6, 5.7.7):

$$\frac{0.061 - 2 \cdot 10^{-3}}{2.4} \leq 0.6$$

$$\frac{12 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}}{2.4} \leq 0.1$$

Следовательно, формулы стандарта применимы.

Таким образом, укрепление отверстий не требуется.

5.7.4 Отверстие под люк-лаз (люк-лаз II)

Схема к расчету укрепления отверстия люка-лаза также представлена на рисунке 23.

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

Расчетный диаметр оболочки:

$$D_r := 2D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{x}{D}\right)^2} \quad (5.7.11)$$

$$D_r := 2.2.4 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{0.6}{2.4}\right)^2} = 4.327M$$

Расчетный диаметр отверстия:

$$d_r := d_l + 2 \cdot c \quad (5.7.12)$$

$$d_r := 0.4 + 2 \cdot 10^{-3} = 0.402 \text{ m}$$

Расчётная толщина стенки штуцера с круглым поперечным сечением:

$$s_{1r} := \frac{P_{v,r} \cdot D_r}{4 \cdot \sigma_{dk} \cdot \phi_r - P_{v,r}} \quad (5.7.13)$$

$$s_{1r} := \frac{0.238 \cdot 4.596}{4.165 \cdot 0.9 - 0.238} = 1.842 \times 10^{-3} \text{ M}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки по формуле:

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s_{k,k} - c}{s_{1r}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_r \cdot (s_{k,k} - c)} \quad (5.7.14)$$

$$d_0 := 2 \cdot \left(\frac{6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}}{1.842 \cdot 10^{-3}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{4.596 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})} = 0.58 \text{ M}$$

Проверка укрепление отверстий (5.7.1):

$$0.58 \geq 0.402$$

Условие выполнится, следовательно, укрепление отверстия не требуется.

5.8 Расчет опор

Расчетная схема сопряжения представлена на рисунке 26, номер позиции на расчетной схеме аппарата - 8.

$$m_r := \pi \cdot \left[\frac{(D_{rub} + 2 \cdot s_r)^2 - D_{rub}^2}{4} \right] \cdot H_g \cdot \rho_{vod} \quad (5.80.2)$$

$$m_r := \pi \cdot \frac{(2.5 + 2 \cdot 4 \cdot 10^{-3})^2 - 2.5^2}{4} \cdot 3 \cdot 1000 = 94.399 \text{ кг}$$

Масса и объём днища рубашки [42]: $m_{r.dn} := 2232.3 \text{ кг}$, $V_{r.dn} := 0.4487 \text{ м}^3$.

Масса пустого аппарата:

$$m_{ap.p} := 1.3 \cdot (2 \cdot m_{k.dn} + m_k + 2 \cdot m_{r.dn} + m_r) \quad (5.8.3)$$

$$m_{ap.p} := 1.3 \cdot (2 \cdot 519.1 + 1.433 \cdot 10^3 + 2 \cdot 2232.3 + 94.399) = 9.139 \times 10^3 \text{ кг}$$

Масса жидкости внутри корпуса при гидроиспытании:

$$m_{ap.g.k} := \left[\pi \cdot \frac{(D^2)}{4} \cdot H + 2 \cdot V_{k.dn} \right] \cdot \rho_{vod} \quad (5.8.4)$$

$$m_{ap.g.k} := \left(\pi \cdot \frac{2.4^2}{4} \cdot 4 + 2 \cdot 1.982 \right) \cdot 1000 = 2.206 \times 10^4 \text{ кг}$$

Масса жидкости внутри рубашки при гидроиспытании:

$$m_{ap.g.r} := \left[\pi \cdot \frac{[(D_{rub} + 2 \cdot s_r)^2 - D_{rub}^2]}{4} \cdot H_g + 2 \cdot V_{r.dn} \right] \cdot \rho_{vod} \quad (5.8.5)$$

$$m_{ap.g.r} := \left[\pi \cdot \frac{(2.5 + 2 \cdot 4 \cdot 10^{-3})^2 - 2.5^2}{4} \cdot 3 + 2 \cdot 0.4487 \right] \cdot 1000 = 0.992 \text{ кг}$$

Масса аппарата, заполненного жидкостью при гидроиспытании:

$$m_{ap.g} := m_{ap.g.k} + m_{ap.g.r} + m_{ap.p} \quad (5.8.6)$$

$$m_{ap.g} := 2.206 \cdot 10^4 + 991.799 + 9.139 \cdot 10^3 = 3.219 \times 10^4 \text{ кг}$$

Вес аппарата:

$$G_{ap} := m_{ap.g} \cdot g \quad (5.8.7)$$

$$G_{ap} := 3.219 \cdot 10^4 \cdot 9.81 = 3.158 \times 10^5 \text{ Н}$$

Примем опору-стойку типа 1 исполнения 1 из стали 09Г2С [43] (рисунок 21).

Принимаем количество опор, равное 2. Тогда нагрузка на одну опору: 157.9 кН.

Принимаем опору со следующими параметрами.

Таблица 10 - Параметры опор

Нагрузка на одну опору, кН	a	a ₁	b	b _{1max}	c	h _{max}	h ₁	s	d	d ₁
160	300	390	340	480	60	875	30	20	42	M36

5.9 Расчет вала механической мешалки

Расчетная схема сопряжения представлена на рисунке 27, номер позиции на расчетной схеме аппарата - 1. Расчет производится по пособию [10].

Исходные данные для расчета:

- диаметр аппарата внутренний, м, $D=2,4$;
- высота крышки, м, $d_{kr} = 0,6$;
- число мешалок, $n = 2$;
- масса детали, кг, $m = 25$,
- плотность материала, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho_v=7920$;
- модуль упругости материала вала, МПа, $E = 1.91 \cdot 10^9$;
- диаметр вала, м; $d_v = 0,050$ (пункт 3.2).

Цель расчета - проверка необходимости укрепления отверстий. Условием прочности соединения являются условие прочности прокладки, условие:

Условие виброустойчивости:

$$\frac{\omega}{\omega_1} \leq 0.7 \quad (5.9.1)$$

где ω - угловая скорость вала, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$; ω_1 - первая критическая угловая скорость вала, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$

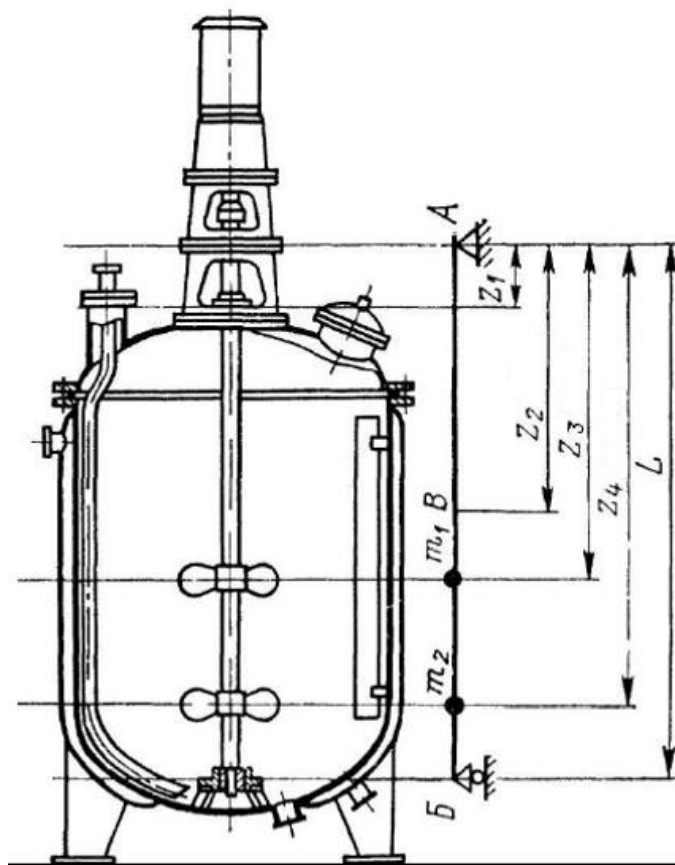


Рисунок 27 - Расчетная схема вала: z_1 - расстояние от конца вала до уплотнения; z_2 - расстояние до середины вала; z_3 - расположение первой мешалки; z_4 - расположение второй мешалки; L - длина вала

Условие жесткости:

$$Az_1 \leq Az_{d1} \quad (5.9.2)$$

где Az_i , мм - динамическое смещение вала в опасных по жесткости сечениях уплотнения и середины вала;

Az_{di} , мм - допускаемые динамические перемещения вала в опасных по жесткости сечениях уплотнения и середины вала.

Условие прочности:

$$\sigma_{akv} \leq \sigma_{dop} \quad (5.9.3)$$

σ_{akvi} - эквивалентные напряжения в опасных по прочности сечениях крепления мешалок к валу, Па;

σ_{dop} - допускаемое напряжение для материала вала, Па;

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

91

5.9.1 Расчет вала

Высота аппарата:

$$H_{ap} := H + h_{kr} \cdot 2 \quad (5.9.4)$$

$$H_{ap} := 4 + 0.600 \cdot 2 = 5.2 \text{ м}$$

Отсюда параметры для расчета вала:

$$z_1 := 0.235, z_3 := 2.$$

$$L := H_{ap} + H_{up} - h_d \quad (5.9.5)$$

$$z_4 := H_{ap} + H_{up} - h_m \quad (5.9.6)$$

$$z_2 := \frac{L}{2} \quad (5.9.7)$$

$$L := 5.2 + 0.850 - 0.56 = 5.49 \text{ м}$$

$$z_4 := 5.2 + 0.850 - 1 = 5.05 \text{ м}$$

$$z_2 := \frac{5.49}{2} = 2.745 \text{ м}$$

Координаты центра массы детали, м

$$\underline{1}_{\text{св}} := \begin{pmatrix} z_3 \\ z_4 \end{pmatrix} \quad (5.9.8)$$

$$1 = \begin{pmatrix} 2 \\ 2.01 \end{pmatrix}$$

Координаты опасных по прочности сечений, м:

$$z := \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \end{pmatrix} \quad (5.9.9)$$

$$z = \begin{pmatrix} 0.235 \\ 2.745 \end{pmatrix}$$

Координаты опасных по прочности сечений - координаты крепления мешалок: $z_3 = 2 \text{ м}$; $z_4 = 5,05 \text{ м}$.

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

5.9.2 Расчет на виброустойчивость

Относительная координата центра масс детали:

$$l := \frac{l}{L} \quad (5.9.10)$$

$$l = \begin{pmatrix} 0.364 \\ 0.366 \end{pmatrix}$$

Угловая скорость вала:

$$\omega := \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (5.9.11)$$

$$\omega := \frac{\pi \cdot 3}{30} = 0.314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Безразмерный динамический прогиб вала в центре массы детали:

$$k_i := 3 \cdot l_i - 4 \cdot (l_i)^3 \quad (5.9.12)$$

$$c_i := 3 \cdot (1 - l_i) - 4 \cdot (1 - l_i)^3 \quad (5.9.13)$$

$$Y_{l_i} := \text{if}(l_i \leq 0.5, k_i, c_i) \quad (5.9.14)$$

$$Y_l = \begin{pmatrix} 0.9 \\ 0.902 \end{pmatrix} \text{ М}$$

Приведенная масса детали:

$$m_{pr_i} := m_i \cdot (Y_{l_i})^2 \quad (5.9.15)$$

$$m_{pr} = \begin{pmatrix} 20.228 \\ 20.343 \end{pmatrix} \text{ кг}$$

Суммарная приведенная масса деталей:

$$m_{prs} := \sum_{i=0}^{nd-1} m_{pr_i} \quad (5.9.16)$$

$$m_{prs} = 40.57 \text{ кг}$$

Линейная масса вала:

$$m_v := \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \rho_v \quad (5.9.17)$$

$$m_v := \frac{\pi}{4} \cdot 0.050^2 \cdot 7920 = 15.551 \text{ кг}$$

Относительная суммарная масса деталей:

										Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						93

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

$$m_{pr} := \frac{m_{prs}}{m_v \cdot L} \quad (5.9.18)$$

$$m_{pr} := \frac{40.57}{15.551 \cdot 5.49} = 0.475 \text{ кг}$$

Безразмерная критическая угловая скорость валов:

$$\omega_{-1} := \frac{9.8}{\sqrt{1 + 2m_{pr}}} \quad (5.9.19)$$

$$\omega_{-1} := \frac{9.8}{\sqrt{1 + 2 \cdot 0.475}} = 7.018$$

Первая критическая угловая скорость вала:

$$\omega_1 := \frac{\omega_{-1} \cdot d}{4 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho v}} \quad (5.9.20)$$

$$\omega_1 := \frac{7.018 \cdot 0.050}{4 \cdot 5.49^2} \cdot \sqrt{\frac{1.91 \cdot 10^9}{7920}} = 1.429 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Тогда условие виброустойчивости (5.11.1):

$$\frac{0.314}{1.429} \leq 0.7,$$

$$0.22 \leq 0.7$$

5.9.3 Расчет на жесткость

Расчет проводится в опасных по жесткости сечениях - в месте установки уплотнения и середины вала.

Эксцентриситет массы детали:

$$e := \frac{10^{-3}}{\sqrt{\omega}} \quad (5.9.21)$$

$$e := \frac{10^{-3}}{\sqrt{0.314}} = 1.785 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Относительные координаты опасных по жесткости сечений:

$$z_{-j} := \frac{z_j}{L} \quad (5.9.22)$$

$$z = \begin{pmatrix} 0.235 \\ 2.745 \end{pmatrix}$$

										Лист
										94
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Безразмерный динамический прогиб вала в опасном по жесткости сечении:

$$Y_i := \text{if} \left[(z_{-j}) \leq 0.5, 3 \cdot z_{-j} - 4 \cdot (z_{-j})^3, 3 \cdot (1 - z_{-j}) - 4 \cdot (1 - z_{-j})^3 \right] \quad (5.9.23)$$

Тогда безразмерный динамический прогиб вала в месте установки уплотнения и в середине вала соответственно:

$$Y_1 := 3 \cdot 0.235 - 4 \cdot 0.235^3 = 0.653$$

$$Y_2 := 3 \cdot (1 - 2.745) - 4 \cdot (1 - 2.745)^3 = 16.019$$

Приведенный эксцентриситет массы детали:

$$\text{epri} := \frac{e}{Y_{-li}} \quad (5.9.24)$$

$$\text{epri} = \begin{pmatrix} 1.984 \times 10^{-3} \\ 1.978 \times 10^{-3} \end{pmatrix}$$

Приведенная масса вала:

$$m_{vpr} := m_{v_pr} \cdot m_v \cdot L \quad (5.9.25)$$

$$m_{vpr} := 0.5 \cdot 15.551 \cdot 5.49 = 42.687 \text{ кг}$$

Так как диаметр вала равен диаметру подшипников и равен 50 мм, то А и Б - высота радиальных зазоров в опорах примем соответственно для однорядных шариковых подшипников: $\Delta B := 2 \cdot 10^{-5}$, $\Delta A := 2 \cdot 10^{-5}$.

Смещение оси вала от оси вращения за счет зазора в опорах в опасном по жесткости сечении:

$$\Delta z_0 := \frac{(\Delta B - \Delta A) \cdot z_0}{L} + \Delta A \quad (5.9.26)$$

$$\Delta z_0 := \frac{(2 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-5}) \cdot (0.235)_0}{5.49} + 2 \cdot 10^{-5} = 2 \times 10^{-5} \text{ м}$$

Так как отношение вала к его диаметру свыше 50, то радиальное биение вала в точке приведения $\varepsilon_v := 0.05 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости вала в опасных по жесткости сечениях.

$$\varepsilon z_i := \varepsilon_v \cdot Y_i \quad (5.9.27)$$

Тогда сечение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости вала в сечении установки уплотнения и в середине вала соответственно:

$$\varepsilon z_1 := 0.05 \cdot 10^{-3} \cdot 0.653 = 3.265 \times 10^{-5} \text{ м}$$

$$\varepsilon z_2 := 0.05 \cdot 10^{-3} \cdot 16.019 = 8.009 \times 10^{-4} \text{ м}$$

Смещение оси вала от оси вращения в точке приведения В за счет зазоров в опорах:

$$\Delta B := \frac{\Delta A + \Delta B}{2} \quad (5.9.28)$$

$$\Delta B = 2 \times 10^{-5} \text{ м}$$

Комплекс:

$$B1 := \frac{\sum_{i=0}^{nd-1} (e_{pr_i} \cdot m_{pr_i})}{m_{prs} + m_{vpr}} \quad (5.9.29)$$

$$B1 = 9.654 \times 10^{-4}$$

Приведенный эксцентриситет массы вала с деталями:

$$e_{pr} := B1 + \Delta B + \varepsilon_v \quad (5.9.30)$$

$$e_{pr} = 1.035 \times 10^{-3}$$

Динамический прогиб оси вала в точке приведения В:

$$Y_v := \frac{e_{pr}}{\left(\frac{\omega l}{\omega}\right)^2 - 1} \quad (5.9.31)$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет динамического прогиба в опасном по жесткости сечении:

$$Y_{z_i} := Y_v \cdot Y_i \quad (5.9.32)$$

$$Y_{z1} := 5.253 \cdot 10^{-5} \cdot 0.653 = 3.43 \times 10^{-5} \text{ м}$$

$$Y_{z2} := 5.253 \cdot 10^{-5} \cdot 16.019 = 8.415 \times 10^{-4} \text{ м}$$

Динамическое смещение вала в опасном по жесткости сечении:

$$A_{z_i} := Y_{z_i} + \Delta z_0 + \varepsilon z_i \quad (5.9.33)$$

										Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						96

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

$$Az_1 := 3.43 \cdot 10^{-5} + (2 \cdot 10^{-5}) + 3.265 \cdot 10^{-5} = (8.695 \times 10^{-5}) \text{ м}$$

$$Az_2 := 8.415 \cdot 10^{-4} + (2 \cdot 10^{-5}) + 8 \cdot 10^{-4} = 1.622 \times 10^{-3}$$

Так как частота вращения вала $130 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ и уплотнение вала - торцевое, то допускаемые динамические перемещения вала в месте установки уплотнения:

$$Azd_1 := 0.25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Допускаемый прогиб вала общего назначения [62]:

$$Azd_2 := 0.0003 \cdot L \quad (5.9.34)$$

$$Azd_2 := 0.0003 \cdot 5.49 = 1.647 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Тогда условие жесткости (5.9.2) в сечении уплотнения и в сечении середины вала соответственно:

$$8.695 \times 10^{-5} \leq 0.25 \cdot 10^{-3}$$

$$1.622 \times 10^{-3} \leq 1.647 \times 10^{-3}$$

Следовательно, условие жесткости вала выполняется.

5.9.4 Расчет на прочность

Смещение оси вала от оси вращения за счет зазоров в опорах:

$$\Delta l_i := \frac{(\Delta A + \Delta B) \cdot l_i}{L} - \Delta A \quad (5.9.35)$$

$$\Delta l = \begin{pmatrix} -5.428 \times 10^{-6} \\ -5.355 \times 10^{-6} \end{pmatrix} \text{ м}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости:

$$\varepsilon l_i := \varepsilon v \cdot Y_{-l_i} \quad (5.9.36)$$

$$\varepsilon l = \begin{pmatrix} 4.498 \times 10^{-5} \\ 4.51 \times 10^{-5} \end{pmatrix} \text{ м}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет динамического прогиба, м:

$$Yl_i := Yv \cdot Y_{-l_i} \quad (5.9.37)$$

$$YI = \begin{pmatrix} 4.725 \times 10^{-5} \\ 4.738 \times 10^{-5} \end{pmatrix} \text{ м}$$

Динамическое смещение центра массы детали:

$$Al_i := YI_i + \Delta l_i + \varepsilon l_i + \varepsilon p r_i \quad (5.9.38)$$

$$Al = \begin{pmatrix} 2.071 \times 10^{-3} \\ 2.065 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \text{ м}$$

Динамическое смещение вала в точке приведения В:

$$Av := YV + \Delta B + \varepsilon v \quad (5.9.39)$$

$$Av = 1.225 \times 10^{-4} \text{ м}$$

Сосредоточенная центробежная сила, действующая на деталь:

$$F_i := \beta \cdot m_i \cdot \omega^2 \cdot Al_i \quad (5.9.40)$$

где $\beta = 3$ - коэффициент, учитывающий режим нагрузки

$$F = \begin{pmatrix} 0.015 \\ 0.015 \end{pmatrix} \text{ Н}$$

Приведенная центробежная сила, действующая на вал в точке приведения В:

$$Fvpr := \beta \cdot mvpr \cdot \omega^2 \cdot Av \quad (5.9.41)$$

$$Fvpr = 1.547 \times 10^{-3}$$

Комплекс:

$$B1 := \sum_{i=0}^{nd-1} [F_i \cdot (L - l_i)] \quad (5.9.42)$$

Реакция опоры А:

$$RA = 0.02 \quad (5.9.43)$$

Комплекс:

$$\hat{A}3 := \sum_{i=0}^{nd-1} (F_i \cdot l_i) \quad (5.9.44)$$

$$\hat{A}3 = 0.061$$

Реакция опоры Б:

$$R_B := \frac{\hat{A}3}{L} + \frac{F_{vpr}}{2} \quad (5.9.45)$$

$$R_B := \frac{0.061}{5.49} + \frac{1.547 \cdot 10^{-3}}{2} = 0.012$$

Изгибающий момент в опасных по прочности сечениях:

$$M_i := R_i \cdot z_i - F_{vpr} \cdot (z_i - 0.5 \cdot L) \quad (5.9.46)$$

$$M_1 := R_A \cdot z_3 - F_{vpr} \cdot (z_3 - 0.5 \cdot L) = 0.041 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_2 := R_B \cdot z_4 - F_{vpr} \cdot (z_4 - 0.5 \cdot L) = 0.056 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Крутящий момент в опасных по прочности сечениях:

$$M_k := \frac{N \cdot n_s}{\omega \cdot n_m} \quad (5.9.47)$$

$$M_k := \frac{0.38 \cdot 960 \cdot 3^3 \cdot 0.8^5 \cdot 2}{10 \cdot 2} \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления в опасных по прочности сечениях:

$$w := \frac{\pi}{32} \cdot (d)^3 \quad (5.9.48)$$

$$w := \frac{\pi}{32} \cdot 0.050^3 = 1.227 \times 10^{-5} \text{ м}^3$$

Эквивалентное напряжение в опасных по прочности сечениях:

$$\sigma_{akv} := \frac{\sqrt{(M_i)^2 + (M_k)^2}}{w} \quad (5.9.49)$$

$$\sigma_{akv1} := \frac{\sqrt{0.041^2 + 322.752^2}}{1.227 \cdot 10^{-5}} = 2.63 \times 10^7 \text{ Па}$$

$$\sigma_{akv2} := \frac{\sqrt{0.033^2 + 322.752^2}}{1.227 \cdot 10^{-5}} = 2.63 \times 10^7 \text{ Па}$$

Допускаемое напряжения для материала вала $\sigma_{dop} := 600 \cdot 10^5 \text{ Па}$

Условие прочности (5.9.3):

$$2.63 \times 10^7 \leq 6 \times 10^7$$

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		99

Таким образом, все условия, такие как виброустойчивости, жесткости, прочности выполняются, диаметр вала, равный 50 мм, обеспечивает надежность работы аппарата.

5.10 Расчет шпоночного соединения вала с мешалкой

Расчетная схема сопряжения представлена на рисунке 28, номер позиции на расчетной схеме аппарата - 1. Расчет производится по методике [47].

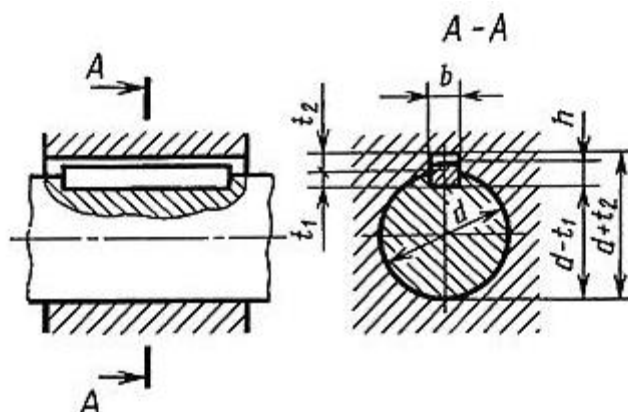


Рисунок 28 - Расчетная схема шпоночного соединения [46]

Исходные данные для расчета:

- диаметр вала, м, $d_v=0,05$;
- справочный размер шмотки на смятие, $K=4$;
- крутящий момент вала, $M_k = 1,21 \cdot 10^3$;

Цель расчета - проверка прочности шпоночного соединения вала с мешалкой. Условием прочности соединения являются условие прочности прокладки на смятие и на срез.

Условие прочности на смятие:

$$\sigma_{sm} \leq \sigma_{d.sm} \quad (5.10.1)$$

где σ_{sm} - расчетное напряжение шпонки на смятие, МПа;

$\sigma_{d.sm} = 150$ МПа - допускаемое напряжение смятия для шпоночных соединений при стальной ступице [47].

Условие прочности на срез:

$$\tau_s \leq \tau_{d.s} \quad (5.10.2)$$

где τ_s - расчетное напряжение шпонки на срез, МПа;

$\tau_{d.s} = 85$ МПа - допускаемое напряжение на срез шпонок [47].

Принимаем для вала диаметром 50 мм призматическую шпонку со следующими характеристиками [45], представленными в таблице 11.

Таблица 11 - Характеристики шпонки

Ширина, b, мм	Высота, h, мм	Размер фаски, s, мм	Длина, l, мм
14	9	0,5	100

Расчетное напряжение шпонки на смятие:

$$\sigma_{sm} := \frac{2 \cdot M_k}{d_v \cdot l_T \cdot K} \quad (5.10.3)$$

$$\sigma_{sm} := \frac{2 \cdot 1.21 \cdot 10^3}{50 \cdot 100 \cdot 4} = 0.121 \text{ МПа}$$

Расчетное напряжение шпонки на срез:

$$\tau_s := \frac{2 \cdot M_k}{b \cdot d_v \cdot l_T} \quad (5.10.4)$$

$$\tau_s := \frac{2 \cdot 1.21 \cdot 10^3}{60.5 \cdot 50 \cdot 100} = 8 \times 10^{-3} \text{ МПа}$$

Тогда условие прочности на смятие (5.10.1):

$$0.121 \leq 150$$

Условие прочности на смятие выполняется.

Тогда условие прочности на срез (5.10.2):

$$8 \times 10^{-3} \leq 85$$

Условие прочности на срез также выполняется.

Следовательно, шпонка обеспечивает надежность соединения.

6 Результаты разработки

По результатам расчета можно сделать следующие выводы:

Реактор полимеризации принят с эллиптическим днищем и крышкой, снабженный рубашкой с эллиптическим днищем и двумя перемешивающими устройствами - шестилопастными мешалками и стойкой вала типа 2 исполнения 2 [48].

По результатам технологического расчета:

- объем реактора 23 м³;
- внутренний диаметр корпуса 2,4 м;
- диаметр мешалки 0,8 м;
- мощность привода мешалки мотор-редуктора [20] МР1-315-16-200 - 18,5 кВт;
- диаметр вала 0,05 м;
- площадь поверхности теплопередачи 44,5 м², большая необходимой;
- внутренний диаметр рубашки 2,5 м;
- диаметры патрубков (таблица 5).

Конструктивными материалами были выбраны:

- сталь 08Х18Н10Т для деталей, соприкасающихся с рабочей средой
- Ст 3 для рубашки;
- 30ХМА для фланцев и болтов;
- 40ХН для вала;
- паронит ПОН для прокладки.

Результаты механического расчета представлены в таблице 12.

					<i>ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ</i>				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>					
<i>Выполнил</i>	<i>Кузеванова А.</i>				<i>Результаты разработки</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>
<i>Провер.</i>	<i>Беляев В. М.</i>							<i>Л</i>	<i>103</i>
									<i>138</i>
<i>Н. Контр.</i>								<i>ТПУ ИШНПТ НОЦ Н. М. Кижнера Группа 4Г6Б</i>	
<i>Утверд.</i>									

Таблица 12 - Результаты механического расчета

Деталь	Условия	Параметр	Расчетное (принятое) значение	Допускаемое значение
Цилиндри- ческая обечайка корпуса	Наружное давление	Толщина стенки, мм	6	-
	Рабочие условия, наружное давление	Осевое сжимающее усилие, МН	$1,489 \cdot 10^{-6}$	$2,889 \cdot 10^{-6}$
		Наружное давление, МПа	0,329	2,354
	Условия испытаний, наружное давление	Осевое сжимающее усилие, МН	1,489	3,852
		Наружное давление, МПа	0,329	3,386
	Внутреннее давление	Толщина стенки, мм	6	3
	Рабочие условия, внутреннее давление	Внутреннее давление, МПа	0,238	0,617
	Условия испытаний, внутреннее давление	Внутреннее давление, МПа	0,238	0,861
Эллипти- ческое днище корпуса	Наружное давление	Толщина стенки, мм	12	11
	Рабочие условия, наружное давление	Наружное давление, МПа	0,329	0,388
	Условия испытаний, наружное давление	Наружное давление, МПа	0,329	0,394
	Внутреннее давление	Толщина стенки, мм	12	3
	Рабочие условия, внутреннее давление	Внутреннее давление, МПа	0,238	1,358
	Условия испытаний, внутреннее давление	Внутреннее давление, МПа	0,238	1,893

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

103

Продолжение таблицы 12

Деталь	Условия	Параметр	Расчетное (принятое) значение	Допускаемое значение
Эллиптическая крышка корпуса	Внутреннее давление	Толщина стенки, мм	6	3
	Рабочие условия, внутреннее давление	Внутреннее давление, МПа	0,238	0,618
	Условия испытаний, внутреннее давление	Внутреннее давление, МПа	0,238	0,862
Цилиндрическая обечайка рубашки	Внутреннее давление	Толщина стенки, мм	6	3
	Рабочие условия, внутреннее давление	Внутреннее давление, МПа	0,329	0,439
	Условия испытаний, внутреннее давление	Внутреннее давление, МПа	0,329	0,656
Эллиптическое днище рубашки	Внутреннее давление	Толщина стенки, мм	6	3
	Рабочие условия, внутреннее давление	Внутреннее давление, МПа	0,329	0,439
	Условия испытаний, внутреннее давление	Внутреннее давление, МПа	0,329	0,656
Фланцевое соединение	Затяжка	Напряжение в болтах, МПа	214,8	537
		Максимальное напряжение, МПа	576,5	1047
	Рабочие условия	Напряжение в болтах, МПа	217,8	305
		Давление на прокладку, МПа	84,3	130
		Максимальное напряжение, МПа	582,1	1190
		Угол поворота, рад	0,012	0,017

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

104

Продолжение таблицы 12

Деталь	Условия	Параметр	Расчетное (принятое) значение	Допускаемое значение
Фланец- еое соединение	Условия испытаний	Угол поворота, рад	0,012	0,013
Опора- стойка	Условия гидроиспытаний	Нагрузка на одну опору, кН	157,9	160
Вал	Рабочие условия	Условие виброустойчивости	0,22	0,7
		Динамическое смещение вала в опасном по жесткости сечении уплотнения, мм	$8,695 \cdot 10^{-5}$	$0,25 \cdot 10^{-3}$
		Динамическое смещение вала в опасном по жесткости сечении середины вала, мм	$1,622 \cdot 10^{-3}$	$1,647 \cdot 10^{-3}$
		Эквивалентное напряжение в опасных по прочности сечениях крепления мешалок, Па	$2,6 \cdot 10^7$	$6,0 \cdot 10^7$
Шпоноч- ное соединение вала с мешалкой	Рабочие условия	Напряжение на смятие, МПа	0,121	150
		Напряжение на срез, МПа	0,008	85

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

105

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение

Введение

Целью данного раздела является определение плановой финансовой и коммерческой ценности разрабатываемого аппарата - конечного продукта. Определение коммерческой ценности зависит не столько от улучшенных технических качеств по сравнению с конкурирующими проектами, но и от того будет ли продукт востребован на рынке, каков бюджет проекта.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Составление плана проекта;
- Расчет бюджета проекта;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности проекта.

7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

7.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования были подобраны два наиболее подходящих варианта исполнения реактора:

- 1) Ректор с рубашкой в виде обечайки снаружи;
- 2) Ректор с рубашкой внутри аппарата в виде змеевика.

Так как у каждого варианта есть свои преимущества и недостатки, была составлена таблица 13 для сравнения вариантов при помощи технических и экономических критериев оценки эффективности.

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ												
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата													
Выполнил		Кузеванова А.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение					Лит.		Лист		Листов			
Провер.		Беляев В. М.								Д				106		138	
Н. Контр.										ТПУ ИШНПТ НОЦ Н. М. Кижнера Группа 4Г6Б							
Утверд.																	

Таблица 13 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{в1}	Б _{в2}	К _{в1}	К _{в2}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Удобство в эксплуатации	0,17	5	4	0,85	0,68
2. Функциональная мощность	0,19	4	5	0,76	0,95
3. Ударопрочность	0,16	4	3	0,64	0,48
4. Уровень шума	0,08	3	3	0,24	0,24
5. Простота изготовления	0,16	5	3	0,80	0,48
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Цена материалов	0,15	5	4	0,75	0,60
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,09	5	5	0,45	0,45
Итого	1	31	27	4,49	3,88

Расчет конкурентоспособности, на примере удобства в эксплуатации, определяется по формуле [49]:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,17 \cdot 5 = 0,85,$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Несмотря на то, что по результатам анализа вариантов исполнения реактора со змеевиком имеет большую функциональную мощность, вариант исполнения с рубашкой в виде обечайки по результатам таблицы показал более хорошие характеристики и является более перспективным.

7.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, проведен SWOT-анализ, который представляет собой комплексный анализ проекта при помощи построения матрицы, состоящий из секторов, соответствующих аббревиатуре анализа (SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы)) [49].

На первом этапе анализа была составлена матрица (таблица 14).

Таблица 14 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны: С1. Наличие квалифицированного персонала, имеющего опыт работы в данной области С2. Более высокая производительность по сравнению с другими аппаратами С3. Экологичность технологии	Слабые стороны: Сл1. Большое количество конкурентных производителей данного аппарата. Сл2. Меньший теплообмен
Возможности: В1. Использование аппарата в качестве реактора не только для полимеризации В2. Использование меньшего количества материалов при изготовлении		
Угрозы: У1. Угроза нарушения герметичности при неправильной эксплуатации У2. Угроза нарушения устойчивости		

На втором этапе на основании матрицы SWOT определены соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды, для чего составляется интерактивные матрицы проекта, представленная в таблице 15.1-15.4.

Таблица 15.1 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		С1	С2	С3
	В1	+	+	0
	В2	-	-	-

Таблица 15.2 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта			
Возможности проекта		Сл1	Сл2
	В1	-	-
	В2	-	+

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		108

Таблица 15.3 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		C1	C2	C3
	У1	-	+	-
	У2	-	+	-

Таблица 15.4 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта			
Угрозы проекта		Сл1	Сл2
	У1	-	+
	У2	-	-

На третьем этапе анализа составлена итоговая матрица, представленная в таблице 16.

Таблица 16 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Наличие квалифицированного персонала, имеющего опыт работы в данной области С2. Более высокая производительность по сравнению с другими аппаратами С3. Экологичность технологии	Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Большое количество конкурентных производителей данного аппарата. Сл2. Меньший теплообмен
Возможности В1. Использование аппарата в качестве реактора не только для полимеризации В2. Использование меньшего количества материалов при изготовлении	Направления развития В1С1С2. Постоянное повышение квалификации персонала положительно скажется на эксплуатации аппарата персоналом, внедрении возможных модификаций в конструкцию, получение различных продуктов высокого качества	Сдерживающие факторы В1Сл2. Использование аппарата для других реакций может компенсировать малый теплообмен
Угрозы У1. Угроза нарушения герметичности при неправильной эксплуатации У2. Угроза нарушения устойчивости	Угрозы развития У1У2С2. Лучшее механические свойства при правильном использовании оборудования привлекательны на рынке	Уязвимости: У1Сл2. Введение конструкций для увеличения поверхности теплообмена

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

109

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества выбранного типа аппарата преобладают над его недостатками.

7.2 Планирование научно-исследовательских работ

7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

При выполнении данного проекта формировалась рабочая группа, в которую входят инженер и научный руководитель.

Перечень этапов и работ, распределенный по исполнителям, представлен в таблице 17.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения ВКР	Инженер, научный руководитель
Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследований	3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	4	Выбор направления исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	6	Проверка расчетов	Научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
	8	Определение целесообразности проведения ОКР	Инженер, Научный руководитель

Таблица 17 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Продолжение таблицы 17

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка чертежа аппарата	Инженер
	10	Проверка чертежей	Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	11	Составление пояснительной записки, оформление чертежей аппарата	Инженер

7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Основной частью стоимости проекта являются трудовые затраты. При этом трудоёмкость оценивается в человека-днях. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула [49]:

$$t_{ож} = \frac{3t_{мини} + 2t_{маxi}}{5},$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни; $t_{мини}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни; $t_{маxi}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Принимая во внимание величину ожидаемой трудоемкости, определяется продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывая параллельность выполнения работ разными исполнителями, для последующего определения заработной платы, по следующей формуле [49]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни; $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни; $ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Результаты расчета представлены в таблице 18.

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		111

7.2.3 Разработка графика проекта

График проекта наглядно представить в виде диаграммы Ганта, являющейся горизонтальным ленточным графиком, с отмеченными на нем отрезками времени, представляющих собой продолжительность выполнения работ.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни в целях удобства, необходимо воспользоваться следующей формулой [49]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле [49]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – общее количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{36 - 104 - 14} = 1,48$$

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 18.

Таблица 18 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

112

Продолжение таблицы 17

Название работы	Трудоёмкость работ						Длитель- ность работ в рабочих днях T_{pi}	Длитель- ность работ в календар- ных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел- дни		$t_{ож}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	3	3	5	1,8	3,8	2,8	4
3. Подбор и изучение материалов по теме	-	7	-	10	-	8,2	8,2	12
4. Выбор направления исследования	-	3	-	5	-	1,4	3,8	6
5. Проведение теоретических расчетов и обоснований	-	15	-	22	-	12,8	17,8	26
6. Проверка расчетов	1	-	3	-	1,8	-	1,8	3
7. Оценка эффективности полученных результатов	-	2	-	5	-	1,8	3,2	5
8. Определение целесообразности проведения ОКР	1	1	2	3	1,4	1,8	1,6	2
9. Разработка чертежа аппарата	-	5	-	7	-	4,2	5,8	9
10. Проверка чертежей	1	-	3	-	1,8	-	1,8	3
11. Составление пояснительной записки, оформление чертежей аппарата	-	9	-	15	-	10,2	11,4	17
Итого:	6	44	15	72	9,6	44,2	59,0	91

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 19).

Таблица 19 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T _{ki} , ка л. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	■											
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4	■											
3	Подбор и изучение материалов по теме	Исп2	12		■										
4	Выбор направления исследования	Исп2	6			■									
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Исп2	26				■								
6	Проверка расчетов	Исп1	3						■						
7	Оценка эффективности полученных результатов	Исп2	5						■						
8	Определение целесообразности проведения ОКР	Исп1 Исп2	2						■						
9	Разработка чертежа аппарата	Исп2	9							■					
10	Проверка чертежей	Исп1	3							■					
11	Составление пояснительной записки, оформление чертежей аппарата	Исп2	17								■				

Примечание:



– Исп. 1 (научный руководитель),



– Исп. 2 (инженер)

7.2.4 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. Затраты группируются по следующим статьям:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для теоретических работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

114

- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

7.2.4.1 Расчет материальных затрат

Материальные затраты - статья расчета, включающая в себя затраты на сырье и материалы. Материальные затраты на проектирование представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	258	3	774
Картридж лазерного принтера	4 990	1	4 990
Итого:			5 764

7.2.4.2 Расчет амортизации специального оборудования

При выполнении научно-исследовательского проекта использовался ПЭВМ - Asus (таблица 21). Срок полезного использования данного ноутбука по паспорту составляет 3 года.

Таблица 21 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	ПЭВМ	1	3	50	50
Итого		50 тыс. руб.			

Расчет амортизации проводится следующим образом [49]:

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в годах.

Амортизация определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot m,$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года:

$$H_A = \frac{1}{3} = 0,33$$

Общая сумма амортизационных отчислений:

$$A = \frac{0,33 \cdot 50000}{12} \cdot 3 = 4125 \text{ руб.}$$

7.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Заработная плата $Z_{зп}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле [49]:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 6); $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m M}{F_d}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для шестидневной рабочей недели (руководителя):

$$З_{\text{дн}} = \frac{58500 \cdot 10,3}{246} = 3076,1 \text{ руб.}$$

Для пятидневной рабочей недели (инженера):

$$З_{\text{дн}} = \frac{31200 \cdot 11,2}{213} = 1640,6 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3; $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

– для руководителя:

$$З_{\text{м}} = 30000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 58500 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$З_{\text{м}} = 16000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31200 \text{ руб}$$

Таблица 22 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 23 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$З_{\text{тс}}, \text{руб}$	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}, \text{руб}$	$З_{\text{дн}}, \text{руб}$	$T_{\text{р}}, \text{раб.дн.}$	$З_{\text{осн}}, \text{руб}$
Руководитель	30000	0,3	0,2	1,3	58500	3076,1	9,6	29530,6
Инженер	16000	0,3	0,2	1,3	31200	1640,6	44,2	72514,5
Итого:								102045,1

Дополнительная заработная плата определяется по формуле

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

117

– для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = 29530,6 \cdot 0,15 = 4429,6 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$З_{\text{доп}} = 72514,5 \cdot 0,15 = 10877,2 \text{ руб.}$$

7.2.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Общая ставка взносов составляет в 2018 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ) [50]:

- 22 % – на пенсионное страхование;
- 5,1 % – на медицинское страхование;
- 2,9 % – на социальное страхование. При этом сумма взносов к уплате зависит от того, превысил доход установленный лимит или нет.

Ставка 30% будет действовать по 2020 год включительно [50].

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле [49]:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}})$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% [50].

– для руководителя:

$$З_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (29530,6 + 4429,6) = 10188,1 \text{ руб}$$

– для инженера:

$$З_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (72514,5 + 10877,2) = 25017,5 \text{ руб}$$

7.2.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы - расходы, учитывающие затраты, не включенные в предыдущие статьи расходов, такие как оплата печати, ксерокопирование, почтовые расходы и прочее.

Рассчитываются расходы по следующей формуле [49] из таблицы 24:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 - 5) \cdot k_{\text{нр}}$$

где $k_{\text{нр}} = 0,16$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		118

Результаты расчетов, проводимых ранее, приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Группировка затрат по статьям

Статьи				
1	2	3	4	5
Амортизация	Материальные затраты	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды
4125	5764	102045,1	15306,8	35205,6

Исходя из таблицы, накладные расходы равны:

$$З_{\text{накл}} = (4125 + 5764 + 102045,1 + 15306,8 + 35205,6) \cdot 0,16 = 25991,4$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составлена калькуляция плановой себестоимости «Проектирование реактора полимеризации хлоропрена», представленная в таблице 25.

Таблица 25 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
		Текущий Проект	
1	Материальные затраты	5764	Пункт 4.2.4.1
2	Амортизация	4125	
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	102045,1	Пункт 4.2.4.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	15306,8	Пункт 4.2.4.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	35205,6	Пункт 4.2.4.4
6	Накладные расходы	25991,4	Пункт 4.2.4.5
Бюджет затрат		184312,9	Сумма ст. 1- 5

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ

Лист

119

7.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования, чье определение связано с нахождением таких величин, как финансовая эффективность и ресурсоэффективность.

Интегральный показатель финансовой эффективности проекта находится при оценке бюджета затрат вариантов исполнения аппарата. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается по формуле [49]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 184312,9$ руб, $\Phi_{\text{max}} = 230000$ руб [51]

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{184312,9}{230000} = 0,8$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вычисляется по формуле [49]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;
 b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Результаты расчета представлены в таблице 26.

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		120

Таблица 26 – Оценка характеристик проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Проект
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5
3. Помехоустойчивость	0,15	4
4. Энергосбережение	0,20	4
5. Надежность	0,25	4
6. Материалоемкость	0,15	5
ИТОГО	1	4,4

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_p = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,20 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,4$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле [49]:

$$I_{\text{исп.рол}} = \frac{I_{\text{р-исп}}}{I_{\text{исп.финр}}}.$$

$$I_{\text{исп.рол}} = \frac{4,4}{0,9} = 4,9$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 27).

Таблица 27 – Сравнительная эффективность проекта

№ п/п	Показатели	Проект
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,8
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4
3	Интегральный показатель эффективности	4,9

Выводы по разделу

В заключение раздела можно сделать следующий вывод:

Анализ конкурентных технических решений показал, что аппарат с рубашкой в виде обечайки является наиболее подходящим и оптимальным по сравнению с другими.

SWOT-анализ показал, слабые и сильные стороны проекта и пути улучшения.

Также был составлен план реализации работ, по которому построена диаграмма Ганта. При этом общее число календарных к дней на реализацию проекта составляет 91.

Бюджет затрат на выполнение проекта составляет 184312,9 рублей.

Были определены показатели эффективности проекта. Интегральный финансовый показатель составляет 0,8, а значит проект финансово выгоден; интегральный показатель ресурсоэффективности разработки равен 4,4; интегральный показатель эффективности составляет 4,9, следовательно, проект является достаточно эффективным.

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		122

8 Социальная ответственность

Введение

В данной работе проектируется реактор полимеризации «Омского каучука», областью применения аппарата является полимерное производство. Из того, что такое оборудование и его эксплуатация создает опасные и вредные факторы, появляется необходимость рассмотреть работы с точки зрения влияния оборудования на работника и окружающую среду.

Данный раздел предусматривает выявление опасных и вредных факторов производства, соответствующие способы защиты; определение экологичности; выявление возможных чрезвычайных ситуаций, мер по их предупреждению и порядок действий в случае возникновения подобных ситуаций.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

8.1.1 Правовые нормы трудового законодательства

Предприятие работает 24 часа в сутки, рабочий процесс осуществляется попеременно двумя сменами по двенадцать часов в соответствии с Трудовым кодексом РФ: с 8 до 20 часов – дневная смена, с 20 до 8 часов – ночная смена. Также предусмотрен обеденный перерыв продолжительностью 1 час [52].

В целях обеспечения защиты персональных данных работников, обработка должна происходить исключительно в целях соблюдения закона, в объёме, разрешенном Конституцией РФ [53], получение данных возможно исключительно от работника [52].

Оплата труда в ночное время за каждый час работы оплачивается в повышенном размере по сравнению с работой в нормальных условиях, но не ниже размеров, установленных трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права [52].

					<i>ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Выполнил	Кузеванова А.				Лит.		Лист	Листов
Провер.	Беляев В. М.				Л			123 138
Н. Контр.					<i>Социальная ответственность</i>		ТПУ ИШНПТ НОЦ Н. М. Кижнера Группа 4Г6Б	
Утверд.								

8.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Уровни физических, химических и биологических опасных и вредных производственных факторов, генерируемых производственным оборудованием в рабочую зону, а также воздействующих на работающего при непосредственном контакте с элементами конструкции, должны соответствовать требованиям безопасности, установленным нормативно-технической документацией, утвержденной в установленном порядке [54]. Также необходимы ограждения.

Конструкция аппарата должна соответствовать ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производное. Общие эргономические требования [54]. Конструкция всех элементов производственного оборудования, с которыми человек в процессе трудовой деятельности осуществляет непосредственный контакт, должна соответствовать его антропометрическим свойствам, также иметь возможность удобства выполнения трудовых действий с применением средств индивидуальной защиты [54].

8.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность является системой организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал вредных и опасных факторов, которые могут возникать при разработке или эксплуатации проектируемого аппарата.

В таблице 28 представлены факторы, характерные для аппарата полимеризации, идентифицированные по ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация [55].

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		124

Таблица 28 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Изготовление	Эксплуатация	
1. Превышение уровня шума	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности [56] СП 51.13330.2011 Защита от шума [57]
2. Токсические химические вещества		+	ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [58]
3. Электрический ток	+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [59] ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [60]

8.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

8.2.1.1 Превышение уровня шума

Основным источником шума является электродвигатель, приводящий в действие перемешивающее устройство аппарата.

Избыточный шум может оказывать вредное воздействие на орган слуха работника, вызывать ощущение болезненности в ушах и возможные акустические травмы [56].

Нормы допустимого шума определяются по СП 51.13330.2011 Защита от шума [57].

В качестве меры защиты рассматривается возможность использования средств индивидуальной защиты от шума - противошумы: вкладыши (беруши), наушники, шлемы.

8.2.1.2 Токсические химические вещества

Содержание в исходной смеси хлоропрена при неисправностях аппарата может привести к отравлению. ПДК хлоропрена составляет 2 мг/м³ [58]. При превышении концентрации вещество может оказывать раздражающее действие на слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей.

В качестве мер защиты необходимы средства индивидуальной защиты при работе непосредственно с исходной смесью, такие как средства защиты органов дыхания - маски и кожи - перчатки.

8.2.1.3 Электрический ток

Электрический ток необходим для работы электродвигателя перемешивающего устройства. При непосредственном прикосновении работника к местам, находящимся под напряжением, возникают местные поражения (ожоги).

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 29 [60].

Таблица 29 - Допускаемые напряжения и токи

Род тока	U, В	I, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы коллективной защиты [59]:

- защитные оболочки;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- защитные барьеры.

Индивидуальными средствами защиты могут являться специальные перчатки и обувь из непроводящих ток материалов.

8.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на работающего

Для снижения уровня воздействия факторов на работающего необходимо при длительном нахождении в помещении с аппаратом использовать противошумы; при работе с исходной смесью компонентов соблюдать правила работы с токсичными веществами, использовать маски и перчатки; при работе с электричеством необходима изоляция токопроводящих частей, средства индивидуальной защиты, заземление; необходимо проводить плановый осмотр оборудования.

8.3 Экологическая безопасность

Эксплуатация аппарата полимеризации не оказывает пагубного влияния на атмосферу, так как отсутствует взаимодействие с газами или их выделение. Основными отходами являются сточные воды и отработанное смазочное вещество подшипников электродвигателя.

Защита гидросферы осуществляется с помощью хозяйственной бытовой канализации, куда может уходить переработанная вода рубашки реактора, подвергаясь очистке на очистных сооружениях.

Защита литосферы заключается в утилизации смазки. При невозможности регенерировать масло на специальных установках, его перерабатывают в порошок, который используют для гудронирования дорог и в качестве наполнителя при производстве асфальта.

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		127

8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайными ситуациями, возможными при работе аппарата, являются аварии техногенного характера, такие как нарушение герметичности оборудования, разрыв трубопроводов, потеря устойчивости аппарата при превышении допускаемого давления; а также возникновение пожара или взрыва ввиду пожароопасности смазочных масел и взрыво- и пожароопасности концентрированного хлоропрена при его утечке. Наиболее вероятным чрезвычайным происшествием является пожар.

Источниками возникновения пожара могут являться:

- смазочные вещества при неверном хранении;
- промасленная одежда при соприкосновении с огнем или горячими частями трубопровода;
- возгорание большой концентрации хлоропрена при соприкосновении с воздухом ввиду утечки.

Мерами по предупреждению пожара в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 25.04.2012 [61]:

- при выполнении планового ремонта или профилактического осмотра технологического оборудования обеспечивает соблюдение необходимых мер пожарной безопасности;
- обеспечивает исправное состояние искрогасителей, искроуловителей, огнезадерживающих и противовзрывных устройств, систем защиты от статического электричества, устанавливаемых на технологическом оборудовании и трубопроводах;
- для мойки и обезжиривания оборудования, изделий и деталей применяются негорючие технические моющие средства;
- в пожаровзрывоопасных участках должен применяться инструмент из безыскровых материалов или в соответствующем взрывобезопасном исполнении;

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		128

- маслоприемные устройства под реакторами, маслоотводы (или специальные дренажи) должны содержаться в исправном состоянии для исключения при аварии растекания масла и попадания его в кабельные каналы и другие сооружения.

В случае возникновения пожара необходимо выполнить следующие действия:

- поставить в известность сотрудников;
- организовать спасение людей из зоны пожара;
- отключить электроэнергию, остановить работу всех устройств и оборудования;
- воспользоваться первичными средствами пожаротушения.

Вывод

В данном разделе были проанализированы вредные и опасные факторы, возникающие при эксплуатации аппарата, определены меры по снижению воздействия этих факторов на работающего; определены методы повышения экологической безопасности литосферы; рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации и разработан порядок действий в результате возникновения чрезвычайной ситуации, а также меры по её предупреждению.

					ФЮРА.РПХ.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		129

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс полимеризации хлоропрена по рассматриваемой методике проводится в водной эмульсии в реакторе полимеризации, снабженном рубашкой для поддержания температуры полимеризации постоянной и перемешивающим устройством - шестилопастной мешалкой.

Также в заключение стоит отметить, что в ходе работы был подобран и спроектирован аппарат для полимеризации хлоропрена, проведен технологический расчет, с помощью которого были определены основные конструктивные размеры, такие как внутренний диаметр, равный 2,4 м, внутренний диаметр рубашки - 2,5 м, диаметр мешалки 0,8м, диаметр вала - 0,05 м, а также параметры штуцеров; а также механический расчет, позволивший определить размеры деталей и проверить обеспечение механической надежности аппарата.

Также с помощью SWOT-анализа выяснены слабые и сильные стороны проекта и пути его улучшения, рассчитан бюджет, составляющий 184312,9 рублей, а также определены методы повышения экологической безопасности литосферы; рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации и разработан порядок действий в результате возникновения чрезвычайной ситуации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башкатов Т. В. Технология синтетических каучуков: Учебник / Т. В. Башкатов, Я. Л. Жиаглин. - СПб.: Лань, 2005. - 360с.
2. Кленин В. И. Высокомолекулярные соединения: Учебник / В. И. Кленин, И. В. Федусенко. - СПб.: Лань, 2013. - 512с.
3. Осовская И. И. Эластомеры: Учебное пособие/ И. И. Осовская, Е. В. Савина - СПб.: СПбГУПДТ, 2016. - 126с.
4. Крючков А. П. Общая технология синтетических каучуков / А. П. Крбчков. - М.: Химия, 1989. - 560с.
5. ГОСТ 20680-2002 Аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Общие технические условия. - взамен ГОСТ 20680-86; введ. 01.07.2003 - М.: Стандартиформ, 2003. - 20 с.
6. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками - Л.: Химия, 1975. - 384 с.
7. Брагинский Л. Н. Перемешивание в жидких средах: Физические основы и инженерные методы расчета / Л. Н. Брагинский, В. И. Бегачев, В. М. Барабаш - Л.: Химия, 1984. - 336 с.
8. Ляпков А. А. Материальные и тепловые расчеты в химической технологии. Учебное пособие. - Томск: Изд. ТПУ, 2005. - 105 с.
9. Ровкина Н. М. Технологические расчеты в процессах синтеза полимеров. Сборник примеров и задач: Учебное пособие / Н. М. Ровкина, А. А. Ляпков - Томск: Изд. ТПУ, 2009. - 167 с.
10. Беляев В. М. Расчет и конструирование основного оборудования отрасли: учебное пособие / В. М. Беляев, В. М. Миронов, В. В. Тихонов - Томск: Из-во Томского политехнического университета, 2009. - 288 с.
11. ГОСТ 9617-76. Сосуды и аппараты. Ряды диаметров. - взамен ГОСТ 9617-67; введ. 01.01.1978 - М.: Из-во стандартов, 1976. - 3 с.
12. ГОСТ 20680-2002 Аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Общие технические условия. - взамен ГОСТ 20680-86; введ. 01.07.2003 - М.: Стандартиформ, 2003. - 20 с.

- 13.РД 26-01-90-85 Механические перемешивающие устройства. Метод расчета. — Изд. офиц. Л.: РТП ЛенНИИхиммаша, 1987 год. — 58 с. — Руководящие документы.
14. Тенфорд Ч. Физическая химия полимеров: Пер. с англ. / Под ред. Проф. Г. Л. Слонимског. - М.: Химия, 1965. - 772 с.
15. Ульянов В. М. Технологические расчеты машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств. Примеры и задачи: учеб. Пособие / В. М. Ульянов, А. А. Сидягин, В. А. Диков. - Н. Новгород, 2015. - 633 с.
16. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. / И. Л. Иоффе. - Л.: Химия, 1991. - 352 с.
17. Допускаемые напряжения и механические свойства материалов [Электронный ресурс] // Справочник конструктора. - Режим доступа: <http://sprav-constr.ru/html/tom1/pages/chapter1/ckm17.html>
18. ГОСТ 12080-66. Концы валов цилиндрические. Основные размеры, допускаемые крутящие моменты (с Изменениями N 1, 2, 3). - взамен ГОСТ 3222-52; введ. 01.01.1967 - М.: Из-во стандартов, 1966. 18 с.
19. Доманский И. В. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи. Учеб. пособие для студентов вузов / И. В. Доманский, В. П. Исаков, Г. М. Островский и др. - Л.
20. Каталог [Электронный ресурс] Режим доступа: http://tambovpolimer.ru/katalog_id/70/
21. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. - М.: Альянс, 2004. - 753 с.
22. Перри Дж. Справочник инженера-химика, т. 1. Перевод с англ. Под ред. Акад. Жаворонкова Н. М. - М.: Химия, 1969. - 640 с.
23. Теплоемкость [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://furlib.ru/books/item/f00/s00/z00000002/st021.shtml>
24. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. М.: Альянс, 2007. - 575 с.

25. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: справочник / А. А. Лашинский; под ред. А. Р. Толчинского. - М.: Альянс, 2011. - 381 с.
26. АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования; введ. 01.12.1995 - М.: Из-во стандартов, 1995. - 62 с.
27. ОСТ 26-2002-83 Люки с плоскими крышками стальных сварных сосудов и аппаратов. Конструкция (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5); введ. 01.01.1994 - М.: Из-во стандартов, 1993 - 12 с.
28. Васильцов Э. А. Аппараты для перемешивания жидких сред: Справ. Пособие / Э. А. Васильцов, В. Г. Ушаков - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. - 271 с.
29. Фролов К. В. Машиностроение: Энциклопедия. - М.: Машиностроение, 2004. - 832 с.
30. ГОСТ 5632-2014 Нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки; введ. 01.01.2015. - М.: Стандартиформ, 2015. - 49 с.
31. ГОСТ 481-80 Паронит и прокладки из него. Технические условия (с Изменениями N 1-5, с Поправкой). - взамен ГОСТ 481-71; введ. 01.01.1981 - М.: Из-во стандартов, 1980. - 15 с.
32. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования; введ. 01.08.2018. - М.: Стандартиформ, 2018. - 35 с.
33. ГОСТ 19903-2015 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент; введ. 01.09.2016 - М.: Стандартиформ, 2016. - 12с.
34. Лашинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры : справочник / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. - М.: Альянс, 2008. - 752 с.
35. Сорокин В. Г. Марочник сталей и сплавов / [Сорокин В. Г. и др.]; Под ред. В. Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989. - 638 с.

36. ГОСТ 34233.2-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек; введ. 01.08.2018. - М.: Стандартинформ, 2018. - 54 с.
37. Михалев М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств примеры и задачи. - Ленинград: Машиностроение, 1984. - 303с.
38. ГОСТ 34233.3-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и наружном давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер
39. ГОСТ 34233.4-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений; введ. 01.08.2018 - 46с.
40. ГОСТ 28759.6-90. Прокладки из неметаллических материалов. Конструкция и размеры. Технические требования; введ. 01.01.1992. - М.: Стандартинформ, 2005. - 6 с.
41. ГОСТ 28759.2-90. Фланцы сосудов и аппаратов стальные плоские приварные. Конструкция и размеры. - взамен ОСТ 26-426-79; введ. 01.01.1992 - 19 с.
42. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры; введ. 01.01.1980. - М.: Издательство стандартов, 1985. - 26 с.
43. АТК 24.200.03-90 Опоры-стойки вертикальных аппаратов. Типы, конструкция и размеры. - Взамен ОСТ 26-665-87; введ. 13.06.1990. - Л.: НИИхиммаша, 1990. - 13 с.
44. АТК 24.201.17-90 Мешалки. Типы, параметры, конструкция, основные размеры и технические требования; введ. 27.11.1990. - М.: Из-во стандартов, 1976. - 34 с.
45. ГОСТ 23360-78. Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки - взамен ГОСТ 8788-68; введ. 01.01.1980 М.: Из-во стандартов, 1979. - 20 с.

- 46.СТ СЭВ 189-75 Единая система допусков и посадок СЭВ. Шпонки призматические. Основные размеры шпонок и сечений пазов
- 47.Куклин Г. С. Детали машин: учеб. для студентов сред. проф. учеб. заведений / Н.Г. Куклин, Г.С. Кукулина, В.К. Житков. - М.: Высш. шк., 2005. - 395 с.
- 48.Каталог [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.gaps.tstu.ru/kir/Katalog/stoy_red/Tip2_2.htm
49. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие /Криницына З.В., Видяев И.Г.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
50. Налоговый кодекс Российской Федерации от 05.08.2000 № 117-ФЗ (ред. от 04.06.2018) // Собрание законодательства РФ. - 07.08.2000. - ст. 425.
51. Разработка конструкторской и технической документации. [Электронный ресурс] [https:// technical-docs.ru/](https://technical-docs.ru/)
- 52.Трудовой кодекс Российской Федерации: текст с изм. и доп. на 5 октября 2016 г. - М.: Наука, 2016. - 454 с.
- 53.Конституция Российской Федерации: принята 12 декабря 1993 г. Официальный текст. - М.: Омега-Л, 2019. - 39 с.
54. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования; введ. 01.01.1982 - М.: Изд-во стандартов, 2001. - 88 с.
55. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация; введ. 01.03.2017 - М.: Стандартиформ, 2016. - 10 с.
56. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности; введ. 01.11.2015 - М.: Стандартиформ, 2015. - 24 с.
57. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1); введ. 20.05.2011 - М.: Изд-во стандартов, 2011. - 42 с.

58. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны; введ. 13.02.2018 - М.: Стандартинформ, 2016. - 120 с.
59. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты; введ. 01.01.2011 - М.: Стандартинформ, 2010. - 28 с.
60. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1); введ. 01.07.1983 - М.: Изд-во стандартов, 1982. - 75 с.
61. Постановлением Правительства РФ от 25.04.2012 в ред. от 23.04.2020г. № 390 «О противопожарном режиме» // Собрание законодательства РФ. 01.01.2018. № 1. (Часть II).
62. Гузенков, Петр Георгиевич. Детали машин: [Учеб. пособие для втузов] / П. Г. Гузенков. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Высш. школа, 1982. - 351

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

[illegible]

[illegible]